



Reabilitação do edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta através da implementação de uma cobertura ajardinada

Luís Filipe de Barros Maria Dias

Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

2013/2014

Orientador

Professor Doutor Luís Filipe de Sá Cesariny Calafate

Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Professor Doutor António José Guerner Dias

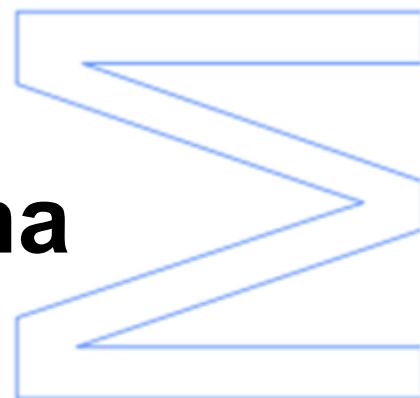
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Orientador no local de estágio

Engenheiro Artur Ferreira Branco

Departamento de Ambiente, Planeamento e Gestão Urbana (DAPGU) da

Câmara Municipal da Maia





Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____





Reabilitação do edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta através da implementação de uma cobertura ajardinada

Luís Filipe de Barros Maria Dias

Relatório de Estágio submetido à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
para obtenção do grau de mestre em Ciências e Tecnologia do Ambiente, na Área de
Especialização em Tecnologias de Remediação Ambiental

Orientador: Professor Doutor Luís Filipe de Sá Cesariny Calafate
Coorientador: Professor Doutor António José Guerner Dias
Orientador no local de estágio: Engenheiro Artur Ferreira Branco

Ano letivo: 2013/2014

Agradecimentos

O presente trabalho representa o culminar de um percurso académico que teve, como etapa final, o estágio realizado na Câmara Municipal da Maia. Assim, queria expressar o meu agradecimento a quem contribuiu, de alguma forma, para que fosse possível ter atingido esta etapa.

Um profundo agradecimento aos meus pais, pelos valores transmitidos e por me terem dado sempre todas as condições para que tivesse sucesso. À minha numerosa família, o meu obrigado por todo o apoio durante esta longa viagem.

À minha namorada e amiga Telma Lopes, pelo apoio incondicional. Por ter sempre acreditado em mim e por toda a motivação que me transmitiu.

Ao meu orientador académico, Professor Luís Calafate, um agradecimento especial por toda a disponibilidade, apoio e incentivo. Por toda a orientação, crucial para o desenvolvimento deste trabalho, sobre um tema pelo qual é fascinado e que me transmitiu o gosto pelas coberturas vegetais. Um muito obrigado por todas as críticas e opiniões científicas.

Ao Professor António Guerner, o meu coorientador académico, o meu agradecimento por todo o apoio prestado desde o início. O meu obrigado por todos os conselhos e orientações.

À Câmara Municipal da Maia, agradeço ter-me facultado todas as condições para a realização deste estágio académico. Um agradecimento particular ao engenheiro Artur Branco, o meu orientador de estágio, por todo o apoio, incentivo e amizade durante o estágio realizado. À Engenheira Maria João Pedrosa, chefe da Divisão do Ambiente, agradeço toda a disponibilidade demonstrada.

Os meus agradecimentos também ao engenheiro Paulo Palha, da empresa Neoturf, pela disponibilidade para me receber e pelas preciosas informações que me forneceu e ao arquiteto Pedro Vaz, do Palácio de Belém, por toda a simpatia, disponibilidade e apoio com que nos recebeu na visita à cobertura ajardinada do Palácio de Belém.

Aos colegas e amigos que me acompanharam neste percurso académico, o meu agradecimento sincero.

A todos, o meu muito obrigado!

*"Não sou da altura que me vêem,
mas sim da altura que os meus olhos podem ver."*

Fernando Pessoa

Resumo

Os problemas ambientais, gerados pela industrialização e pelo aumento da população no nosso planeta, têm criado um intenso desafio a profissionais, como arquitetos, engenheiros e projetistas, na procura de soluções eficazes para diminuir os efeitos sentidos pelas alterações climáticas. Atualmente, as coberturas ajardinadas são um dos recursos que pode ser utilizado, nos nossos edifícios, como forma de mitigação dos efeitos relacionados com estas alterações. Não sendo uma tecnologia recente, apenas nas últimas décadas as coberturas ajardinadas ganharam maior destaque com a evolução da tecnologia que permitiu um acesso mais vasto a esta solução.

O presente relatório foi efetuado no âmbito de um estágio curricular realizado na Câmara Municipal da Maia, com a duração de um ano letivo, e teve como objetivo a requalificação de um edifício através da implementação de uma cobertura ajardinada.

Assim, a primeira fase passou por elaborar uma revisão bibliográfica sobre as coberturas ajardinadas. Foi estruturada uma contextualização histórica, focados os benefícios e limitações, bem como os aspetos técnicos deste tipo de coberturas e a legislação existente. Numa segunda fase foi averiguada a situação atual do edifício em estudo, passando pela realização de medições de temperatura, humidade e vento. Por fim, o trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar uma proposta de uma cobertura ajardinada para o edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta.

Palavras-chave:

Coberturas ajardinadas, comportamento térmico, ambiente, Quinta da Gruta, Município da Maia.

Abstract

Environmental problems caused by industrialization and population growth on our planet, have created an intense challenge for professionals, such as architects, engineers and designers, to find adequate solutions to reduce the effects felt by climate change. Currently, green roofs are one of the features that can be used in our buildings as a way of mitigating the effects related to these changes. By not being a new technology, only in recent decades the green roofs gained greater prominence with the development of technology that allowed wider access to this solution.

This report was done under an internship held in the Maia Municipality, with a duration of one academic year, and aimed the rehabilitation of a building through the implementation of a green roof.

So, in the first phase it was done a literature review about green roofs. A historical context, focused benefits and limitations as well as the technical aspects of this type of coverage and the existing legislation were discussed. In the second phase it was determined the current status of the building under study, through taking measurements of temperature, humidity and wind. Finally, the work was developed with the objective of presenting a proposal of a green roof for the building of the Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta.

Keywords:

Green roofs, thermal behavior, environment, Quinta da Gruta, Maia Municipality.

Índice

Agradecimentos.....	II
Resumo	V
Abstract	VII
Índice.....	IX
Índice de figuras	XII
Índice de tabelas.....	XVII
Lista de abreviaturas.....	XVIII
1- Introdução	1
1.1 - Enquadramento	1
1.2 - Objetivos	5
1.3 - Metodologia	5
1.4 - Estrutura do trabalho	6
2 - Coberturas Ajardinadas	8
2.1 - Descrição sumária	8
2.2 - Perspetiva histórica	9
2.2.1 - Coberturas ajardinadas em Portugal	25
2.3 - Tipos de coberturas ajardinadas	31
2.3.1 - Coberturas ajardinadas intensivas	31
2.3.2 - Coberturas ajardinadas semi-intensivas	33
2.3.3 - Coberturas ajardinadas extensivas	33
2.4 - Variantes de coberturas ajardinadas	35
2.5 - Composição	37
2.6 - Manutenção	38
2.7 - Benefícios	39
2.7.1 - Benefícios ambientais.....	40
2.7.1.1 - Qualidade do ar	40
2.7.1.2 - Redução do efeito “Ilha de Calor”	41
2.7.1.3 - Gestão de águas pluviais	42
2.7.1.4 - Vento	43
2.7.1.5 - Biodiversidade	44
2.7.2 - Benefícios económicos	44
2.7.2.1 - Agricultura urbana	44

2.7.2.2 - Eficiência energética	45
2.7.2.3 - Prolongamento do tempo de vida útil da membrana	46
2.7.2.4 - Valorização económica	46
2.7.3 - Benefícios sociais	46
2.7.3.1 - Valorização estética e aumento do espaço útil	46
2.7.3.2 - Isolamento acústico	47
2.8 - Limitações	47
3 - Aspetos Técnicos das Coberturas Ajardinadas	50
3.1 - Legislação aplicável e normalização	50
3.2 - Condicionantes e análise prévia	53
3.3 - Elementos constituintes das coberturas ajardinadas	54
3.3.1 - Vegetação	55
3.3.2 - Substrato	58
3.3.3 - Camada filtrante	59
3.3.4 - Camada de drenagem	59
3.3.5 - Camada de proteção	61
3.3.6 - Proteção anti-raiz	61
3.3.7 - Membrana de impermeabilização	62
3.3.8 - Laje estrutural	63
3.3.9 - Coberturas ajardinadas modulares	64
3.4 - Ecologia dos materiais de construção	65
4 - Situação Atual do Edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta	68
4.1 - Introdução	68
4.2 - Localização	68
4.3 - Enquadramento geral	69
4.4 - Levantamento	71
4.5 - Orientação solar	76
4.6 - Medições	78
4.6.1 - Temperatura	82
4.6.1.1 - Estação meteorológica	83
4.6.1.1.1 - Temperatura exterior	83
4.6.1.1.2 - Temperatura interior – Local 1	84
4.6.1.1.3 - Temperatura interior – Local 2	85
4.6.1.1.4 - Temperatura interior – Local 3	86
4.6.1.1.5 - Temperatura interior – Local 4	87

4.6.1.1.6 - Temperatura interior – Local 5	89
4.6.1.1.7 - Temperatura interior – Local 6	90
4.6.1.2 - Câmara termográfica	91
4.6.2 - Humidade	96
4.6.3 - Vento	98
4.7 - Diagnóstico	99
4.8 - Estratégia	101
5 - Proposta de Cobertura Ajardinada e Quantificação de Benefícios	102
5.1 - Casos de estudo	102
5.1.1 - Centro de Documentação e Informação - Palácio de Belém	102
5.1.2 - Jardim botânico de cobertura em Augustenborg, Dinamarca	109
5.2 - Condicionantes da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta	112
5.3 - Proposta de cobertura ajardinada	113
5.4 - Quantificação de benefícios	124
5.4.1 - Benefícios ambientais	125
5.4.1.1 - Biodiversidade	125
5.4.2 - Benefícios económicos	125
5.4.2.1 - Eficiência energética	125
5.4.3 - Benefícios sociais	126
5.4.3.1 - Valorização estética	126
6 - Conclusão	127
Referências bibliográficas	129
Anexos	140

Índice de Figuras

Figura 1 – Evolução da população Urbana e Rural no Mundo a partir de 1950 e perspetivada até 2050	1
Figura 2 – Uso da energia nos edifícios	3
Figura 3 – Uma das coberturas ajardinadas de termo-regulação no jardim do Recinto do Arco, em Lisboa	4
Figura 4 – Obra de Martin van Heemskerck a representar os Jardins Suspensos da Babilónia, séc. XVI.....	10
Figuras 5 e 6 – Planta e fotografia atual da <i>Villa dei Misteri</i> em Pompeia	11
Figura 7 – Representação esquemática de um <i>Sod Roof</i> da Escandinávia	12
Figuras 8 e 9 – Fotografias de uma casa típica da Islândia na atualidade e uma <i>Sod House</i> no Nebraska (E.U.A.) no início do séc. XX	12
Figuras 10 e 11 – Torre Guinigi em Itália, vista exterior e da cobertura	13
Figuras 12 e 13 – <i>Mont Saint-Michel</i> e os seus claustros	14
Figuras 14 e 15 – Fachada do Palazzo Piccolomini e os seus jardins no terraço com vista para o vale.....	15
Figuras 16 e 17 – Desenho datado de 1843 representativo de como era o Kremlin no séc. XVII e fotografia atual da cobertura ajardinada do Hermitage, particularmente da fonte no jardim barroco	16
Figuras 18 e 19 – Villa Hennebique em Bourg-la-Reine e do nº 25 bis, da Rue Franklin em Paris	18
Figura 20 – Vista aérea de um edifício <i>Mietskasernen</i>	19
Figuras 21 e 22 – Postal ilustrado da época do <i>Aronson's Casino Theatre</i> e cobertura ajardinada num teatro da época	20
Figuras 23 e 24 – Fotografias da época do terraço com vegetação do Salão Jardim da Trindade	20
Figura 25 – Desenho original do edifício <i>Midway Gardens</i> de Frank Lloyd Wright	21
Figuras 26 e 27 – Modelo maquete da LEGO e fotografia da casa Savoye, arredores de Paris	22
Figuras 28, 29 e 30 – Fotografia do <i>Rockefeller Center</i> à esquerda, ao centro e à direita do armazém Derry & Toms	23
Figura 31 – Fotografia dos anos sessenta da cobertura do <i>Harvey's Store</i>	24
Figuras 32 e 33 – Fotografia do Hospital Beatriz Ângelo e do Hospital de Amarante	28
Figura 34 – Linha do tempo – Evolução das Coberturas Ajardinadas em Portugal	29
Figura 35 – Representação esquemática dos três diferentes tipos de coberturas ajardinadas	31

Figura 36 – Fotografia aérea de uma cobertura ajardinada do tipo intensivo, Passeio dos Clérigos, no Porto	32
Figura 37 – Cobertura ajardinada do tipo extensivo, casa particular em Vila Nova de Gaia.....	34
Figura 38 – Autoestrada A7 numa zona residencial em Linz, na Áustria, com uma cobertura ajardinada no topo	35
Figura 39 – Um dos <i>Eco-roofs</i> de Portland, Estados Unidos da América.....	36
Figura 40 – Brown Roof no topo do edifício Laban Dance Centre, em Londres	37
Figura 41 – Composição típica de uma Cobertura Ajardinada	37
Figura 42 – Sistema anti-queda utilizado pelos serviços de manutenção.....	39
Figura 43 – Variação da temperatura, ao final da tarde, demonstrativa do efeito ilha de calor.....	42
Figura 44 – Diferenças de escoamento de águas pluviais entre uma cobertura tradicional, a linha contínua, e uma cobertura ajardinada, a tracejado.....	43
Figura 45 – Cobertura ajardinada extensiva do Centro Educativo das Lagoas, em Ponte de Lima.....	48
Figura 46 – Componentes estruturais de uma Cobertura Ajardinada.....	55
Figuras 47 e 48 – <i>Sedum acre</i> e <i>Sedum album</i> , respetivamente, dois dos <i>Sedum</i> que podem ser encontrados em Portugal	56
Figura 49 – Sistema de drenagem para coberturas ajardinadas	60
Figura 50 – Diferença dos sistemas de impermeabilização.....	63
Figuras 51 e 52 – Cobertura ajardinada modular de tabuleiro e saco não biodegradável	64
Figura 53 – Exemplo de uma cobertura ajardinada modular de encaixe na Pennsylvania, Estados Unidos da América.....	65
Figura 54 – Aglomerado de cortiça expandida na estrutura de uma cobertura ajardinada.....	67
Figura 55 – Localização da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta	69
Figura 56 – Fotografia de parte da fachada poente da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta	71
Figura 57 – Pormenores exteriores do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta	72
Figura 58 – Identificação de infiltrações de água, no edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta	73
Figura 59 – Pormenor da cobertura do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta	74
Figura 60 – Identificação de lajes negras de ardósia danificadas, na cobertura do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta.....	75

Figura 61 – Orientação do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta	76
Figura 62 – Diagrama solar, representando a altura do sol para a latitude de 41 °	77
Figuras 63 e 64 – Parede da fachada voltada a sul e vidro da fachada voltada a este	78
Figuras 65 e 66 – Estação meteorológica modelo Watson W-8681, localização exterior e interior.....	79
Figura 67 – Localização da estação meteorológica exterior e interior no edifício da escola de educação ambiental.....	80
Figura 68 – Temperaturas exteriores registadas no Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta	83
Figura 69 – Temperaturas registadas no local 1, em comparação com as temperaturas exteriores	84
Figura 70 – Temperaturas registadas no local 2, em comparação com as temperaturas exteriores	85
Figura 71 – Temperaturas registadas no local 3, em comparação com as temperaturas exteriores	87
Figura 72 – Temperaturas registadas no local 4, em comparação com as temperaturas exteriores	88
Figura 73 – Temperaturas registadas no local 5, em comparação com as temperaturas exteriores	89
Figura 74 – Temperaturas registadas no local 6, em comparação com as temperaturas exteriores	90
Figura 75 – Câmara termográfica FLIR i7	92
Figuras 76 e 77 – Fotografias termográficas do exterior da escola de educação ambiental.....	93
Figuras 78 e 79 – Fotografias termográficas do exterior da escola de educação ambiental.....	94
Figura 80 – Fotografias termográficas do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta	95
Figura 81 – Humidade relativa exterior registada no Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta.....	96
Figura 82 – Humidade relativa interior registada no Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta	97
Figura 83 – Intensidade e direção do vento, no Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta	98
Figura 84 – Representação gráfica da situação de conforto térmico relacionando a temperatura e a humidade	100
Figura 85 – Temperatura diária à superfície de diferentes coberturas	101
Figuras 86 e 87 – Planta e axonométrica explodida do CDI do Palácio de Belém ...	102

Figura 88 – Vista aérea do edifício do CDI do Palácio de Belém	103
Figura 89 – Vista aérea do edifício do CDI do Palácio de Belém, com a divisória entre jardim e cobertura ajardinada	104
Figura 90 – Gabinetes do CDI, do Palácio de Belém, voltados a nascente.....	105
Figura 91 – Gráfico da evolução da temperatura no exterior do edifício e nos quatro gabinetes monitorizados do CDI	105
Figura 92 – Cobertura ajardinada extensiva do bloco B do CDI, do Palácio de Belém, e fotografias termográficas da cobertura.....	107
Figura 93 – Cobertura ajardinada intensiva do bloco A do CDI, do Palácio de Belém, e fotografias termográficas da cobertura.....	108
Figura 94 – Planta perspectivada do <i>Augustenborg Botanical Roof Garden</i> , em Malmö	109
Figura 95 – Visualização aérea do <i>Augustenborg Botanical Roof Garden</i> , em Malmö	110
Figura 96 – Pormenores da cobertura do <i>Augustenborg Botanical Roof Garden</i> , em Malmö.....	111
Figura 97 – Área da cobertura do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta a remover.....	114
Figura 98 – Pormenores de trepadeiras existentes no edifício da escola de educação ambiental.....	115
Figura 99 – Locais de implementação da pérgula de videira no edifício da escola de educação ambiental.....	116
Figura 100 – Autocolantes em forma de aves, colados nos vãos envidraçados, tentam evitar choques de aves contra os vidros	117
Figura 101 – Plano indicativo de áreas da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta	118
Figura 102 – Tipo de plantação proposto para a cobertura ajardinada da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta.....	119
Figura 103 – Pormenor construtivo da cobertura ajardinada contínua da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta.....	121
Figura 104 – Pormenor construtivo da cobertura ajardinada modular da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta.....	122
Figuras 105 e 106 – Pormenor construtivo da cobertura ajardinada contínua e modular, respetivamente	122
Figura 107 – Passadiço metálico proposto para a cobertura da escola de educação ambiental.....	123
Figura 108 – Plano geral da proposta para o Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta	124

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Resumo das principais características das coberturas ajardinadas.....	34
Tabela 2 – Jurisdições utilizadas na elaboração do manual.....	51
Tabela 3 – Informação prévia presente nas “Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo – Cubiertas Verdes”	54
Tabela 4 – Listagem de espécies usuais em coberturas extensivas	57
Tabela 5 – Listagem de fatores diferenciadores de um substrato	58
Tabela 6 – Calendarização das medições de temperatura e humidade interiores.....	81
Tabela 7 – Condicionantes da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta com base nas “Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo – Cubiertas Verdes”	112

Lista de Abreviaturas

a.C. – Antes de Cristo

CDI - Centro de Documentação e Informação

d.C. – Depois de Cristo

EPDM - Monómero Etileno-Propileno-Dieno

FLL - Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (Sociedade Alemã de Pesquisa da Paisagem)

Fig. – Figura

HDPE - Polietileno de Alta Densidade

IGRA - International Green Roof Association (Associação Internacional de Coberturas Ajardinadas)

PVC - Policloreto de Vinila

séc. - Século

1 - Introdução

1.1 - Enquadramento

O presente relatório teve como base o estágio realizado na Câmara Municipal da Maia cujo foco principal foi a reabilitação do edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta através de uma proposta de implementação de uma cobertura ajardinada. Para o efeito, foi tida em consideração uma revisão bibliográfica sobre as técnicas existentes no mercado, seguindo-se um estudo do estado atual do edifício e, mais tarde, foi planeada a implementação da cobertura ajardinada, com uma fase de elaboração da proposta. O edifício em questão encontra-se localizado na freguesia do Castelo da Maia, concelho da Maia.

As cidades revelaram-se, desde as primeiras civilizações, como um polo atrativo de criação de emprego, serviços e lazer. Atualmente no nosso planeta, e ao contrário do que ocorreu até ao ano de 2008, a população urbana ultrapassou a população rural em número de habitantes, como pode ser observado na figura 1.

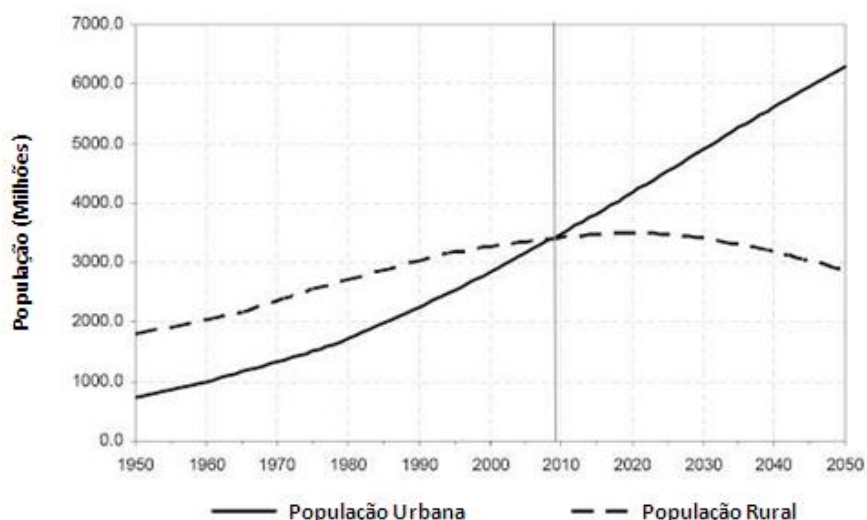


Fig.1 – Evolução da população Urbana e Rural no Mundo a partir de 1950 e perspetivada até 2050

Fonte: <http://www.un.org/en/development/desa/population> (Adaptado)

Este acréscimo do número de habitantes nas cidades, com tendência para continuar a aumentar nos próximos anos, vai acrescentar novos desafios a profissionais como, por exemplo, arquitetos, engenheiros e projetistas (COOK-

PATTON, 2012). As cidades vão aumentar em tamanho, tanto em área como em altura, sofrendo o acréscimo da sua densidade populacional e, conseqüentemente, elevando os custos de terreno e habitação. As zonas verdes, essenciais para o equilíbrio urbano, vão começar a ser cada vez mais caras devido aos custos das parcelas de terreno. A pressão sobre os recursos naturais, cuja rutura pode levar à diminuição da qualidade de vida, poderá atingir um nível incomportável, se não forem resolvidos os diversos problemas ambientais, que começaram a proliferar no nosso planeta desde a revolução industrial.

Na verdade, esta revolução que, segundo Eric Hobsbawm (1962), eclodiu no Reino Unido por volta do ano de 1780, veio, definitivamente, mudar o mundo em que vivemos. Desde essa altura que, através do enorme crescimento industrial, passamos a ter um impacte negativo, significativo, conseqüente da atividade humana poluidora no planeta Terra. Este consumo desmesurado de recursos veio, obrigatoriamente, introduzir no nosso dia a dia termos como “pegada ecológica” e “desenvolvimento sustentável”, sem que no entanto os tenhamos assimilado verdadeiramente nas nossas ações e decisões governativas.

O aumento da densidade populacional nas cidades não tem sido o único desafio demográfico do nosso planeta, também o aumento da população mundial atual, na ordem das 200.000 pessoas por dia, nos encaminha para um conflito moral entre património natural e património construído. Dessa forma, para além do local onde edificamos, devemos pensar como o vamos fazer e em que condições essa construção poderá ser o mais sustentável possível. Por isso, a preocupação com o conforto térmico dos edifícios deve ser também considerada como um ponto essencial da chamada construção sustentável.

Charles Kibert definiu, em 1994, na primeira Conferência Internacional de Construção Sustentável, este tipo de construção como a génese de um ambiente construído saudável, tendo em conta os princípios ambientais e a utilização eficiente dos recursos. Tendo em consideração que os edifícios gastam entre 30 a 40% de toda a energia consumida globalmente e que, dessa energia, cerca de 40% é utilizada no aquecimento ou arrefecimento das edificações, como pode ser observado na figura 2, torna-se imperativo começar a olhar para alternativas, mais ecológicas e sustentáveis.

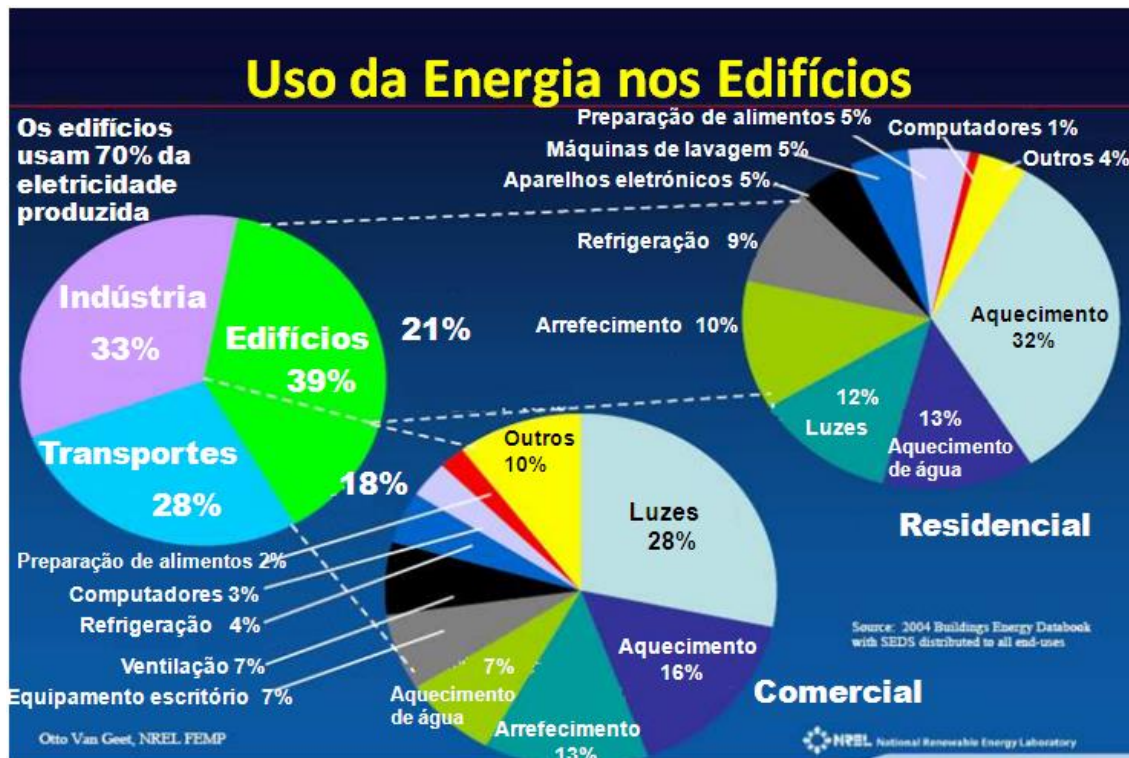


Fig. 2 – Uso da energia nos edifícios

Fonte: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov> (Adaptado)

A energia solar, fonte de energia primária, poderá, cada vez mais, ter um papel de destaque e ser uma das principais soluções na construção sustentável do futuro. O aproveitamento solar passivo, tanto no arrefecimento, como no aquecimento dos edifícios, pode ser uma mais-valia sustentável, promovendo a redução do consumo de energia nos edifícios em Portugal uma vez que, apesar do clima ser temperado, é dos países que apresenta maior desconforto térmico no interior dos edifícios.

A utilização de coberturas ajardinadas, ou no seu termo inglês *green roofs*, nos edifícios, prática já de longa duração nos países nórdicos da Europa, é outra solução como resposta aos desafios térmicos da construção atual. Desde cedo, a atração do homem pelas alturas, e o seu desejo de incluir a vegetação como material de construção, levou-o à utilização de material vegetal vivo na cobertura das habitações tradicionais nórdicas. Estas coberturas tinham uma função não só estética, mas principalmente, térmica nas habitações. Outro exemplo, mais atual mas com uma prática já superior a um século, é a utilização de coberturas ajardinadas em depósitos de água com o objetivo de termorregulação, como pode ser visto na figura 3, contando o nosso país com vários exemplos desta prática de Arquitetura Industrial em Lisboa.



Fig. 3 – Uma das coberturas ajardinadas de termorregulação no jardim do Recinto do Arco, em Lisboa

Fonte: <http://lisboaemuitagente.blogspot.pt/2010/12/mais-um-jardim-em-lisboa-e-um-segreto.html>

Uma cobertura ajardinada pode ser definida como um sistema artificial colocado sobre a parte superior de um edifício, ou estrutura, em que se pode aplicar diversos tipos de materiais sendo o seu elemento essencial a vegetação. É separado do nível do solo por uma estrutura de material inerte e o espaço plantado é aberto, permitindo retirar dele inúmeras vantagens.

Hoje em dia, as coberturas ajardinadas procuram responder aos mais variados desafios da construção. Fatores económicos, funcionais, ambientais, sociais e estéticos estão cada vez mais associados à escolha deste tipo de solução para a cobertura dos edifícios. Problemas nas cidades como, por exemplo, a grande quantidade de área impermeabilizada que está associada ao fenómeno de ilha de calor, poderiam ser amenizados por esta opção construtiva que conta já com uma grande evolução ao nível da tecnologia utilizada.

Os inúmeros desafios ambientais criados pelo homem ao longo do tempo servem como lição para podermos projetar aquilo que desejamos no futuro, contando que tudo o que pudermos fazer para reduzir os nossos consumos energéticos e auxiliar na prevenção da poluição é um caminho bem traçado para um planeta mais sustentável.

1.2 - Objetivos

O trabalho desenvolvido neste relatório de estágio tem como principal objetivo o estudo das coberturas ajardinadas e do edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta, no concelho da Maia, de forma a explorar os benefícios da implementação de uma cobertura ajardinada neste edifício, bem como fazer a sua projeção.

Tendo em conta a obtenção deste objetivo, o presente trabalho abordou os seguintes pontos:

- Análise histórica das coberturas ajardinadas através da revisão bibliográfica;
- Estudo dos aspetos técnicos das coberturas ajardinadas recorrendo à análise bibliográfica;
- Avaliação da atual situação térmica da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta;
- Verificação de casos de estudo existentes;
- Proposta de uma cobertura ajardinada com base na análise dos parâmetros monitorizados;
- Quantificação dos benefícios da intervenção proposta.

1.3 - Metodologia

Com vista ao cumprimento dos objetivos delineados para o presente trabalho, a metodologia considerada compreendeu três fases distintas: análise, síntese e proposta.

A primeira fase do estudo consistiu na recolha de informação através de uma revisão bibliográfica, dando maior ênfase aos aspetos técnicos das coberturas ajardinadas e ao seu desempenho térmico.

Numa segunda fase, foi feito um diagnóstico da situação atual do edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta de forma a compreender as potencialidades e restrições na implementação de uma cobertura ajardinada no edifício e de que forma o seu conforto térmico poderia ser otimizado.

Por fim, na terceira e última fase, procedeu-se à projeção de uma cobertura ajardinada para o edifício, tendo em conta a análise dos parâmetros monitorizados.

Para a revisão literária levada a cabo, com vista à realização deste relatório, foram utilizadas fontes primárias e secundárias de informação. Para localização das fontes primárias de informação recorreu-se a bases de dados específicas como a base de dados online do endereço da internet: <http://www.greenroofs.com>. Para a escolha da vegetação a implementar na cobertura ajardinada proposta foi consultado, entre outros, o seguinte endereço, da Sociedade Portuguesa Botânica, na internet: <http://www.flora-on.pt>.

Os manuais de referência consultados, na área das coberturas ajardinadas, foram, entre outros, o *Green Roof Plants: A Resource and Planting Guide* e *The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance*. Do Arq. Francisco Moita, *Energia Solar Passiva*, foi o manual utilizado para estabelecer uma análise sobre o aproveitamento da energia solar passiva no edifício em estudo.

1.4 - Estrutura do trabalho

O presente estudo encontra-se organizado em seis capítulos. No primeiro capítulo, denominado “Introdução”, estão presentes o enquadramento do tema, são delineados os objetivos do trabalho, é indicada a metodologia seguida na sua execução e, por fim, a estrutura do relatório de estágio.

O segundo capítulo, que tem como nome “Coberturas Ajardinadas”, é principiado com a contextualização histórica destas coberturas, sendo feita a sua distinção e descrição. São também abordados temas como a sua composição, a manutenção necessária das mesmas e os benefícios e limitações inerentes a este tipo de estruturas.

“Aspetos Técnicos das Coberturas Ajardinadas” é a designação do terceiro capítulo, é apresentada a legislação e normalização aplicável neste tipo de coberturas, seguindo-se as indispensáveis condicionantes e critérios de seleção a ter em conta na implementação das coberturas ajardinadas. Os elementos constituintes deste tipo de coberturas são também focados neste capítulo onde, a finalizar, se apresenta a ecologia dos materiais de construção.

No quarto capítulo é diagnosticada a situação atual do caso de estudo deste trabalho, o edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta. É apresentado o enquadramento geral do edifício, a seguir à introdução e à localização do mesmo. Segue-se o levantamento que foi realizado, levando ao diagnóstico e à estratégia idealizada para o caso de estudo. São, ainda, apresentados os dados relativos aos parâmetros monitorizados e os cálculos efetuados no desempenho térmico do edifício.

O quinto capítulo é denominado por “Proposta de Cobertura Ajardinada e Quantificação de Benefícios” e começa pela apresentação de dois estudos de caso de duas coberturas ajardinadas distintas. Estes estudos de caso, juntamente com as condicionantes apresentadas, serviram como base para a proposta de uma cobertura ajardinada para o edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta. Apresentado o projeto proposto, é feita uma quantificação de benefícios que encerra o capítulo.

No último capítulo, o sexto, são apresentadas as considerações finais.

2 - Coberturas Ajardinadas

2.1 - Descrição sumária

“Cobertura ajardinada” é um dos termos mais utilizados na literatura portuguesa para designar os sistemas de cobertura que integram vegetação na sua estrutura. Outras designações como “cobertura verde” e “cobertura viva”, ou mesmo o termo inglês “*green roof*”, são também bastante utilizados no nosso país. As coberturas podem ser descritas como uma superfície contínua, projetada para a proteção dos utilizadores dos elementos naturais exteriores indesejáveis, sendo que as coberturas ajardinadas distinguem-se das tradicionais por conterem vegetação no topo, ao invés de um material inerte. O que distingue as coberturas ajardinadas dos jardins tradicionais é o facto de a vegetação não ser instalada no próprio solo. Esta pode ser instalada a um nível superior, inferior ou mesmo ao mesmo nível do próprio solo, neste caso é separada deste por edifícios ou estruturas, onde são aplicados diversos materiais por forma a obter o isolamento necessário.

Os sistemas atuais de cobertura com vegetação são sistemas modernos, constituídos por diversas camadas, que permitem obter um isolamento de grande qualidade, com diversas vantagens ambientais, estéticas e ecológicas. Já com uma utilização secular, os avanços tecnológicos verificados nas últimas décadas permitiram às zonas urbanas em geral, e aos edifícios em particular, usufruir de grandes vantagens ao nível do aumento da biodiversidade e da melhoria das condições energéticas dos edifícios (GODDARD, 2010). A ausência de espaços verdes, nas grandes áreas urbanas, pode também ser minorizada com a implementação das coberturas vegetais. Outras alternativas como a horticultura no topo dos edifícios têm, também, sido exploradas com sucesso.

As coberturas ajardinadas podem ainda ter um papel bastante importante na mitigação dos efeitos das alterações climáticas. Como preconiza Santamouris (2014), o potencial de mitigação das coberturas ajardinadas depende de quatro parâmetros identificados:

- Parâmetros climáticos como a radiação solar, a temperatura e humidade local, a velocidade do vento e a precipitação;

- Parâmetros óticos como reflexão solar, a emissividade e a capacidade de retenção do calor por parte da vegetação;
- Parâmetros térmicos como a capacidade de retenção térmica da cobertura e o coeficiente global de transferência de calor entre a cobertura e o edifício;
- Parâmetros hídricos que definem o coeficiente de calor latente em coberturas com vegetação.

2.2 - Perspetiva histórica

Ao contrário do que se poderia pensar, as coberturas com vegetação têm já uma longa tradição, que nos faz recuar até às primeiras civilizações. No entanto, só os avanços tecnológicos registados no último século as fizeram ter uma grande distribuição à escala global, existindo hoje espalhadas um pouco por todo o Mundo.

Os primeiros registos das coberturas com vegetação encontram-se no ano 600 a.C., na região da antiga Babilónia, e são os seus muito famosos Jardins Suspensos (figura 4). Estes jardins eram considerados uma das sete maravilhas erguidas durante a Antiguidade Clássica. Embora não exista, até ao momento, qualquer registo arqueológico comprovativo da sua existência, pensa-se que estes jardins foram erguidos nas margens do rio Eufrates, de onde era bombeada a água para a sua rega (PECK *et al.*, 1999). O local em questão corresponde atualmente ao sul do Iraque.

Estes jardins suspensos seriam constituídos por terraços, assentes em colunas que, especula-se, podiam chegar aos 20 metros de altura e tinham como vegetação árvores e flores tropicais (OSMUNDSON, 1999). Ainda hoje os especialistas debatem a técnica de como seria feita a irrigação dos jardins pela dificuldade que haveria, naquela altura, em fazer o transporte de grande quantidade de água que seria, eventualmente, necessária para evitar a morte das espécies vegetais.



Fig. 4 – Obra de Martin van Heemskerck a representar os Jardins Suspensos da Babilónia, séc. XVI

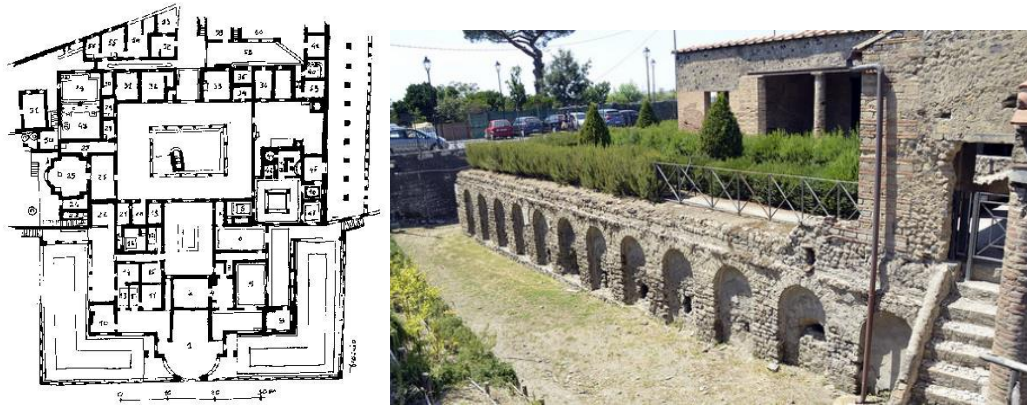
Fonte: <http://en.wahooart.com>

Na Grécia Antiga existem relatos dos jardins suspensos que chegaram até aos nossos dias, como relatos do historiador Diodoro Sículo e do geógrafo Estrabão, ambos no séc. I d.C., que fazem uma descrição das supostas dimensões e das características arquitetónicas dos jardins. No entanto, foi por volta do ano 280 a.C., altura em que terá vivido um sacerdote de seu nome Berossus, que deixou escrito na sua obra *Babyloniaka*, da qual já não existem exemplares conhecidos, a primeira referência aos Jardins Suspensos da Babilónia. Até aos dias de hoje muitos esforços têm sido levados a cabo por arqueólogos e historiadores de forma a encontrar vestígios que comprovem a existência dos jardins (OSMUNDSON, 1999).

Em 2013, a investigadora da Universidade de Oxford, Stephanie Dalley, autora do livro “The Mystery of the Hanging Garden of Babylon”, revela no seu estudo a descoberta da identidade dos Jardins Suspensos da Babilónia. Segundo Dalley, através de uma árdua pesquisa e cruzamento de fontes antigas, os famosos jardins teriam sido construídos não na região da Babilónia mas sim pelos seus inimigos do norte, os Assírios. Ela defende que foi o rei Assírio Sennacherib, a mandar edificar estes jardins na cidade de Nínive, e que seriam irrigados pelo rio Tigre. Acredita-se que a população desta grande cidade histórica tinha uma grande apetência tecnológica tendo sido dos primeiros povos a captar e canalizar as cheias do rio Tigre, ricas em aluvião, utilizando-as para irrigar campos e jardins.

No antigo Império Romano também podemos encontrar registos de jardins nas coberturas de alguns edifícios. O Mausoléu de Augusto, construído no ano de 28 a.C., e que ainda hoje pode ser visto na capital italiana, apesar do seu elevado estado de degradação, é um dos exemplos. Outro pode ser encontrado na cidade de Pompeia, tem como denominação Villa dos Mistérios (figura 5 e figura 6), e foi submersa pelo

“mar” de lava da erupção do Monte Vesúvio no ano de 79 d.C. (OSMUNDSON, 1999). Apesar de não terem sobrevivido, até aos dias de hoje, numerosos registos dos jardins de cobertura desta época, sabemos que estes eram mais comuns em edifícios institucionais e nas Villas, onde os romanos tinham o hábito de adornar os seus terraços com vegetação, proporcionando mais conforto, já que estes espaços eram geralmente utilizados para atividades ao ar livre em toda a bacia mediterrânica.



Figs. 5 e 6 – Planta e fotografia atual da *Villa dei Misteri* em Pompeia, respetivamente

Fontes: <http://ospitiweb.indire.it/~copc0001/pompei/la-villa-romana.htm> e

<http://www.flickr.com/photos/spirosk/6563735031>

Mais a norte da Europa, na Escandinávia, o uso de vegetação nas coberturas, também era prática comum há vários anos. Os *Sod Roofs* ou *Turf Roofs*, assim designados, eram formados por casca retirada de bétulas a constituir a base, com várias camadas sobrepostas que davam à casca a qualidade de impermeabilidade. Pode ser visualizada uma representação esquemática na figura 7. Na parte de cima era colocado solo, com prado como vegetação predominante, retirado nos terrenos anexos (ROHRBACH, 2004). A principal função destas coberturas era criar o isolamento térmico necessário para habitações com esta latitude, principalmente durante os gélidos invernos nórdicos (PALHA, 2011). Outra das vantagens apontada à escolha deste tipo de cobertura como solução para os edifícios nórdicos, seria a possibilidade da utilização de materiais locais na sua construção, sendo que existiria na época, alguma dificuldade em encontrar materiais de construção mais tradicionais nas quantidades necessárias (PECK, *et al.*, 1999).

Materiais de construção: Locais

Durabilidade: 30 anos

Objetivos: Isolamento térmico,
Impermeabilização e Estéticos

Duas camadas de prado,
em que a primeira era voltada para baixo
com o objetivo de proporcionar drenagem

Seis camadas, ou mais, de casca de bétula
sobrepostas com o objetivo de
impermeabilização

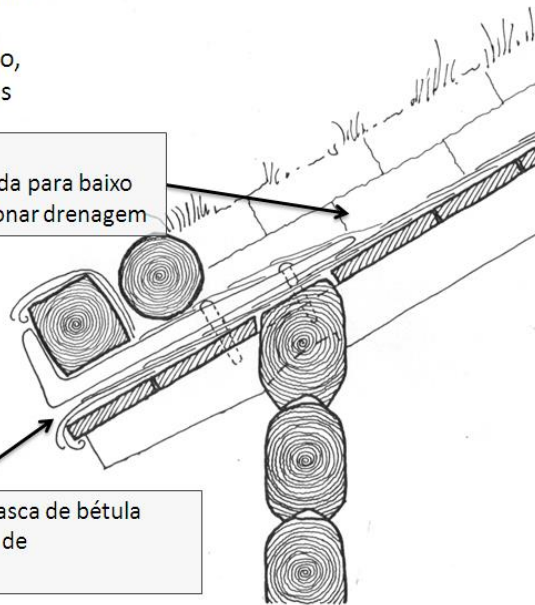


Fig. 7 – Representação esquemática de um Sod Roof da Escandinávia

Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Torvtak_3.png (Adaptado)

Esta técnica terá tido origem na Islândia (figura 8), mas muito rapidamente se difundiu, devido à sua eficiência térmica, como prática comum pela região escandinava. Mais tarde, pela deslocação de população do norte da Europa para a América do Norte, a técnica foi, também, aplicada nas novas casas dos emigrantes durante os séculos XIX e XX, no continente americano (figura 9) (OSMUNDSON, 1999).



Figs. 8 e 9 – Fotografias de uma casa típica da Islândia na atualidade e uma Sod House no Nebraska (E.U.A.) no início do séc. XX, respetivamente

Fontes: <http://www.standout-cabin-designs.com/green-roof-design.html> e
<http://lewisandclarkscenicbyway.com/new-tricks-from-old-sod>

Durante a Idade Média as coberturas com vegetação foram utilizadas apenas em casos pontuais, em zonas onde os terrenos para produção eram escassos ou com objetivos ornamentais. Dois dos exemplos mais proeminentes deste período, e que ainda podem ser observados em boas condições de conservação, são a *Torre Guinigi* em Lucca, na Itália, e o *Mont Saint-Michel* na costa da Normandia, no norte da França.

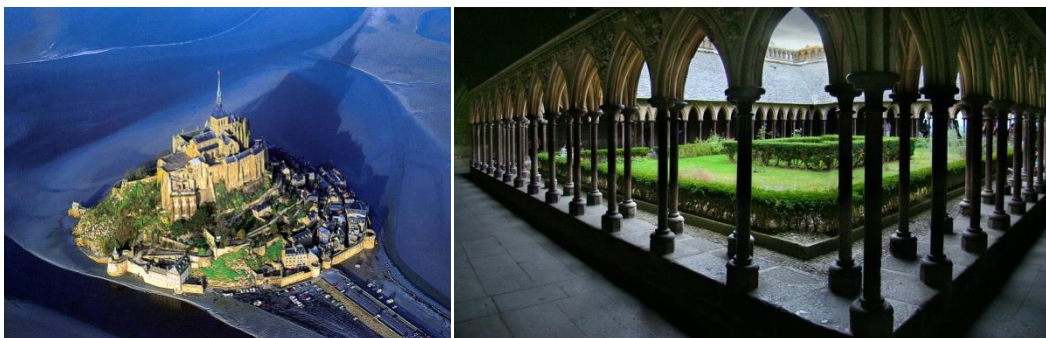
A construção da *Torre Guinigi* (figura 10) começou no ano de 1384, no interior da cidade muralhada de Lucca e fazia parte das inúmeras torres construídas nesta cidade italiana que, no início do século XIV, já contava com cerca de 250 torres e campanários. Esta torre é a única das torres medievais, pertencente a famílias privadas de Lucca, que se mantém erguida até aos dias de hoje, tendo evitado o colapso, destino que tiveram as outras, durante o século XVI. Esta torre tem a particularidade de ter a 44 metros, a sua altura, sete carvalhos plantados no topo, alguns desses carvalhos podem ser observados na figura 11.



Figs. 10 e 11 – Torre Guinigi em Itália, vista exterior e da cobertura, respetivamente

Fontes: <http://www.kuriositas.com/2013/01/torre-guinigi-tower-with-oak-trees-on.html> e
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torre_guinigi_10.JPG

A abadia do *Mont Saint-Michel* (figura 12) foi mandada construir por volta do ano de 708 d.C., mas somente no século XIII, quando foi fortificada, passou a integrar vegetação no seu edificado. As coberturas com vegetação da abadia encontram-se em alguns dos vários terraços que esta possui e nos, muito admirados, claustros (figura 13). Situada numa zona de grande riqueza paisagística, no chamado golfo de Saint-Malo, é considerada umas das relíquias da região francesa da Normandia (GRANT, 2003).



Figs. 12 e 13 – *Mont Saint-Michel* e os seus claustros

Fontes: <http://bdparis.fr/regioes-francesas/monte-saint-michel> e

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/45/Normandie_Manche_Mont1_tango7174.jpg

No Renascimento, a filosofia da construção de jardins assumiu uma mudança formal e começou a basear-se na simetria e em formas geométricas rígidas. Um dos melhores exemplos de uma cobertura ajardinada neste período é o Palazzo Piccolomini na cidade italiana de Pienza (figura 14). A sua construção deveu-se ao Papa Pio II, que durante o seu pontificado, começado em 1458, decidiu dar uma nova vida à sua terra natal. A vila, até então chamada de Corsignano, teve o seu nome mudado para Pienza e um novo plano urbanístico criado pelo arquiteto italiano Bernardo Rossellino, muito conceituado na época. O Palazzo Piccolomini, acaba por ser uma das obras de referência de Rossellino, com uma fachada imponente virada a norte, voltada para a rua e um terraço, voltado a sul para o vale do rio Orcia, onde encontramos um jardim formal em cobertura (figura 15). Apesar de algumas modificações, o espaço continua bastante similar ao da época de construção e a demonstrar características muito próprias dos jardins do Renascimento. As sebes de buxo acabam por ter uma papel de destaque na geometria dos canteiros de um jardim em cobertura que, conjugado com a beleza do vale circundante, acaba por ser um local de encontro por excelência entre a natureza e a arquitetura da segunda metade do século XV (OSMUNDSON, 1999).



Figs. 14 e 15 – Fachada do Palazzo Piccolomini e os seus jardins no terraço com vista para o vale

Fontes: http://www.affittacamerelavite.it/Palazzo_Piccolomini_Pienza.htm e

http://www.gardenvisit.com/garden/palazzo_piccolomini_garden

Durante o período Barroco, os jardins continuaram a utilizar a sua filosofia formal, dando maior ênfase ao aspeto estético de ligação do jardim à paisagem. Na Rússia dos czares, em pleno século XVII, os jardins nas coberturas eram considerados como algo luxuoso não acessível a todos, sendo que a nobreza russa apreciava a sua utilização como uma das formas de ostentação de riqueza. Por volta desta época foi instalado um jardim sobre cobertura no *Kremlin* (figura16), em Moscovo. Este jardim, provavelmente inspirado nos Jardins Suspensos da Babilónia, foi instalado num telhado do Kremlin e era constituído por dois jardins suspensos, em diferentes níveis de altura. Ao nível dos quartos do palácio foi construído o jardim superior, com cerca de 4 hectares de dimensão, e com dois terraços adicionais inferiores, que se situavam já perto do rio Moscovo, que banha a cidade com o mesmo nome. Infelizmente estes jardins já não existem pois foram mandados destruir de forma a edificar um novo palácio no Kremlin. As abóbadas do edifício serviam de base ao jardim, contendo uma plataforma existente que suportava a enorme estrutura criada, sendo que para suportar o peso, foi necessário reforçar a estrutura inferior com vigas de ferro (OSMUNDSON, 1999).

O jardim superior era rodeado por uma muralha de pedra e possuía um lago com cerca de 93 metros quadrados de dimensão onde foram construídas fontes. A água utilizada era elevada desde o rio Moscovo por uma estrutura inserida na Torre Vodovzvodnaya, que ainda hoje pode ser visitada junto ao novo palácio. Os terraços mais baixos tinham uma área menor, cerca de 2,4 hectares, no entanto, também contavam com lagos a embelezar o seu jardim. No que toca à vegetação podiam ser encontradas espécies de árvores de fruto, assim como videiras e arbustos que eram plantados em vasos ou caixas com terra vegetal. Conta-se que o czar Pedro “o

Grande” era, na infância, um grande apreciador destes jardins, tendo nessa altura ganho o gosto da navegação nos lagos do palácio.

Catarina II da Rússia, ainda durante o período Barroco, mandou edificar ao arquiteto italiano Bartolomeo Francesco Rastrelli o edifício, que hoje pertence ao famoso museu de arte, *Hermitage* em São Petersburgo. Juntamente com a construção desse edifício mandou construir um jardim em cobertura nos terraços do Palácio de Inverno, obra do mesmo arquiteto italiano anos antes, contíguo ao atual museu *Hermitage*. Este jardim foi então mandado edificar num grande pátio de forma retangular e permite ter, da galeria do museu, uma excelente visualização do jardim formal. O pátio principal foi desenhado em formato retangular, com quatro canteiros floridos divididos pelo pavimento de pedra. Possui ainda uma fonte ao centro e diversas estátuas de figuras da mitologia clássica, como pode ser visualizado na figura 17 (OSMUNDSON, 1999).



Figs. 16 e 17 – Desenho datado de 1843 representativo de como era o Kremlin no séc. XVII e fotografia atual da cobertura ajardinada do Hermitage, particularmente da fonte no jardim barroco

Fontes: Osmundson, 1999, p.119 e <http://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/04/90/96/09/state-hermitage-museum.jpg>

Com o aparecimento do modernismo e de todas as ideias que lhe estão associadas, ocorreu uma grande mudança, não só ao nível de pensamento, mas também no planeamento urbano e construções. Para o aparecimento do movimento modernista, no início do século XX, muito contribuiu uma revolução iniciada em Inglaterra, uns anos antes, e que viria a mudar a forma de vida das populações. A Revolução Industrial, que teve início por volta do ano de 1780, permitiu uma grande expansão da indústria e, sem preocupações ao nível ambiental, a poluição também foi deixando a sua marca durante o século XIX criando, um pouco por todas as zonas urbanas com unidades industriais, condições precárias de salubridade e saúde pública. Com o aparecimento dos primeiros problemas ambientais, semelhantes aos que hoje ainda nos afetam, começou a crescer, na segunda metade do século XIX,

uma mudança de consciência social de que alguma coisa seria necessário fazer para inverter o rumo negativo que se vinha a verificar.

Estas novas ideias de mudança, juntamente com novos materiais de construção, foram o passo necessário para começar a edificar as novas construções de outra forma e começou, assim, a ser rentável construir em altura. O aparecimento do betão na construção no final do século XIX e início do século XX, que possibilitou ter mais capacidade de suporte com menores custos, e o primeiro elevador elétrico construído em 1880, vieram incentivar os construtores a explorar novas formas de rentabilizar as coberturas dos edifícios, acabando como que naturalmente por surgir, novamente, a ideia de levar a vegetação até ao topo destes.

Desta forma, a transição do século XIX para o século XX revelou-se decisiva na construção, com o aparecimento de expoentes da arquitetura modernista, como foram François Hennebique e Auguste Perret. François Hennebique, construtor de origem francesa, estudou as propriedades e as técnicas do betão armado, e foi um dos pioneiros, aquando da construção da Villa Hennebique (figura 18), que construiu para si em Bourg-la-Reine, na França, a demonstrar as potencialidades deste novo material. Este edifício inovador contava também com vegetação integrada no edificado. Já Auguste Perret, utilizou pela primeira vez o betão armado com expressão na arquitetura. Foi no prédio nº 25 bis, da Rue Franklin, em Paris (figura 19). Este é considerado o primeiro edifício em que o betão armado é utilizado sem disfarces e é assumido como pertencente à composição da fachada.

O primeiro terraço com vegetação em Portugal deve ter surgido por volta do ano de 1908, em Lisboa, através da sociedade “Moreira de Sá & Malevez”. Com sede em Lisboa e no Porto, esta sociedade importou a patente Hennebique para construções de betão armado, tendo construído na zona de Alcântara o primeiro edifício com esta técnica.



Figs. 18 e 19 – Villa Hennebique em Bourg-la-Reine e do nº 25 bis, da Rue Franklin em Paris, respetivamente

Fontes: <http://www.atlasobscura.com/articles/concrete-o-rama-concrete-in-atlas-obscura> e

http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Paris_16_-_mmeuble_25bis_rue_Benjamin_Framklin_-1.JPG

As primeiras coberturas ajardinadas da época surgiram, assim, por volta do século XIX, em Berlim, na Alemanha (MAGALHÃES, 2001). Karl Rabbitz construiu, em meados desse século, uma cobertura com vegetação numa habitação comum de classe média, em Berlim. Esta construção foi encarada como algo bastante invulgar para a época, devido ao clima austero do norte germânico, bastante frio no inverno e com precipitação regular durante todo o ano. Utilizando uma estrutura de impermeabilização inovadora, à base de cimento vulcanizado, ele próprio construiu a cobertura com vegetação. Conseguiu obter informações chave que o levaram em 1867, com um edifício modelo deste projeto, a expôr as vantagens deste tipo de cobertura, nomeadamente na impermeabilização, na *Exposition universelle d'Art et d'industrie*, Segunda Exposição Mundial em Paris, criando um grande impacto na época (OSMUNDSON, 1999).

Apesar de toda a inovação que os novos materiais permitiam obter, as coberturas ajardinadas entraram numa estagnação ao nível da sua expansão. Foi devido ao crucial papel da natureza que as coberturas com vegetação voltaram a aparecer na cena germânica nos finais do século XIX. As *Mietskasernen* (figura 20), habitações alemãs de custo reduzido, começaram a ter bastante procura na época e a sua cobertura era feita de madeira e argamassa de cimento. Com materiais de baixo custo, era também feito o sistema de impermeabilização da cobertura, que se revelaria

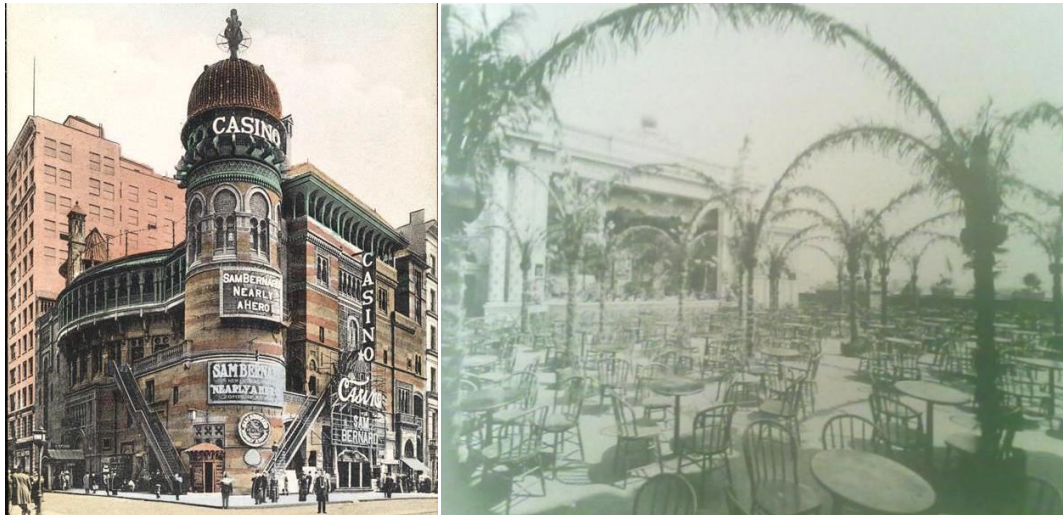
altamente inflamável, possuindo uma camada de feltro com betume. Para reduzir o eventual risco de incêndio eram depositados sobre a cobertura uma mistura contendo seixos e areia das redondezas que, rapidamente, era colonizada, através do transporte de sementes pelo vento e pelas aves, por espécies espontâneas dando-lhe o aspeto de um prado, sem qualquer tipo de manutenção. Surgiram assim as primeiras coberturas ajardinadas extensivas (KOHLE, 2003).



Fig. 20 – Vista aérea de um edifício *Mietskasernen*

Fonte: <http://www.kripahle-online.de/unterricht/wp-content/uploads/2011/01/mietskasernen.jpg>

Sensivelmente na mesma época, mas do outro lado do Atlântico, em Nova Iorque, vários foram os grandes edifícios-teatro que optaram por construir coberturas ajardinadas para usufruto dos seus espetadores, principalmente para conseguirem temperaturas amenas na primavera e verão. O primeiro a edificar uma cobertura com vegetação foi o *Rudolph Aronson's Casino Theater* (figura 21), projeto dos arquitetos Kimball e Wisedell que teve um enorme sucesso. Rapidamente, seguindo este exemplo, outros projetistas começaram a incluir esta solução nas suas obras. Palmeiras e heras eram as espécies prediletas destes espaços e, por volta do ano de 1890, chegaram a existir cerca de nove espaços com coberturas semelhantes à da figura 22. Algumas delas eram protegidas com estruturas de vidro, que faziam com que o espaço pudesse ser usado durante os dias em que o clima exterior não era tão favorável. Alguns hotéis e restaurantes optaram, também, por brindar o seu público com estas coberturas ajardinadas, porém, numa altura de grande mudança tecnológica como o aparecimento do ar condicionado e, principalmente, do cinema, estes espaços teatrais foram perdendo preponderância e acabaram por ser fechados e, inclusivamente, demolidos durante os anos vinte e trinta (OSMUNDSON, 1999).



Figs. 21 e 22 – Postal ilustrado da época do *Aronson's Casino Theatre* e cobertura ajardinada num teatro da época, respetivamente

Fonte: <http://daytoninmanhattan.blogspot.pt/2013/06/the-lost-1882-casino-theatre-39th.html> e

Osmundson, 1999, p. 123

Também em Portugal se encontram registos deste período de grande expansão dos terraços com vegetação. Nas figuras 23 e 24, pode ser visto o Salão Jardim da Trindade, inaugurado em 14 de junho de 1913, e que teve, na sua inauguração, um programa de exibição de quatro filmes da época. Muito frequentado, nos anos que se seguiram, pela alta sociedade portuense, o espaço ainda existe atualmente na cidade do Porto, no entanto, com um registo diferente do da época.



Figs. 23 e 24 – Fotografias da época do terraço com vegetação do Salão Jardim da Trindade

Fonte: <http://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/49730/> e Andrade, 2010, p.103

Um pouco por toda a Europa, e América do Norte, a ideia da utilização dos terraços como espaço funcional ia ganhando forma e, em 1900, Tony Garnier para a competição *Cité Industrielle* cria um projeto com grandes áreas abertas planas. Em 1903, os irmãos Perret criam em Paris prédios famosos na época, cujas coberturas foram terraços com vegetação. Senett propôs, em Inglaterra, no ano de 1905, o

conceito de cidade-jardim. Apesar destes progressos no aproveitamento dos terraços, as coberturas ajardinadas tardavam em se afirmar e continuavam a levantar sérias dúvidas aos projetistas no início do século XX (ROHRBACH, 2004).

Porém, nesse mesmo século existiram dois arquitetos bastante influentes na época e, embora o trabalho de ambos tivesse filosofias e perspetivas diferentes, os dois atribuíram aos seus projetos coberturas funcionais e úteis, quase como se estes espaços a céu aberto permitissem uma continuação das funcionalidades interiores do edifício, são eles Frank Lloyd Wright e Le Corbusier (WELLS e GRANT, 2004).

E foi exatamente incorporando essa ideia que o arquiteto Wright projetou um dos seus mais famosos projetos, o *Midway Gardens* (figura 25) que foi construído em Chicago, no ano de 1914. A cobertura deste edifício possuía uma esplanada, rodeada por sebes, equipada com cadeiras e mesas para usufruto nos dias de verão. Nesse mesmo ano, o arquiteto Walter Gropius projetou em Colónia, na Alemanha, no cimo do edifício comercial "Werkbund", um exímio exemplar de um restaurante com cobertura ajardinada. A obra *Midway Gardens*, de Frank Lloyd Wright, fez muito sucesso na época, no entanto, graves problemas financeiros levaram ao seu encerramento e demolição em 1929. Wright concebeu ainda dois projetos com a mesma ideia de utilização das coberturas com pequenos jardins e esplanadas, como são os casos do *Larkin Building* em Buffalo, estado de Nova Iorque, e do Hotel Imperial em Tóquio, construídos nos anos de 1904 e 1922 e demolidos em 1950 e 1967, respetivamente (OSMUNDSON, 1999).

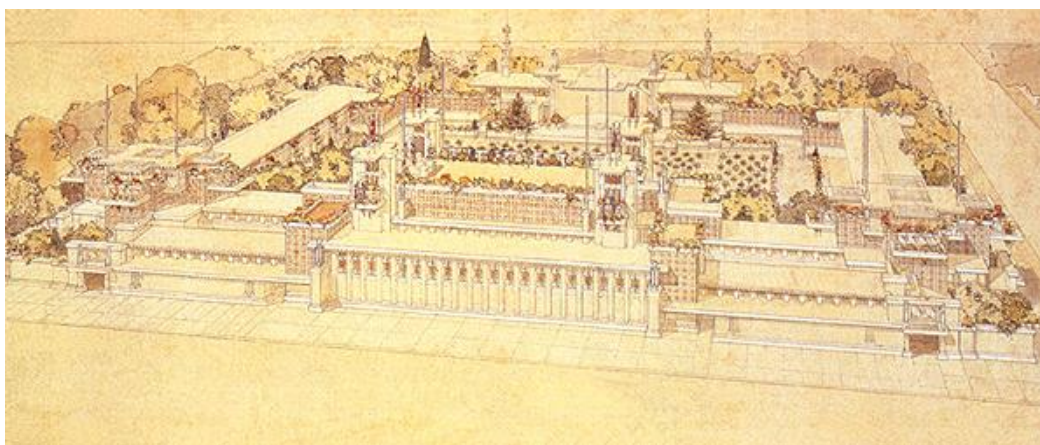


Fig. 25 – Desenho original do edifício *Midway Gardens* de Frank Lloyd Wright
Fonte: <http://www.steinerag.com/flw/Artifact%20Pages/PhRtS180.htm>

O arquiteto Le Corbusier começou, por volta dos anos vinte, a projetar coberturas com vegetação, para clientes com possibilidades financeiras mais elevadas

e era conhecida a sua opinião favorável, para a adoção deste tipo de solução para edifícios sempre que, assim, fosse possível. Decorria o ano de 1926, quando Charles-Edouard Jeanneret se junta a Le Corbusier, e juntos publicam os cinco elementos fundamentais da arquitetura moderna, obra de referência em que a colocação de vegetação sobre os telhados e coberturas foi contemplada (DARLING, 2000). O aparecimento do aquecimento central nos edifícios veio, segundo as observações de Le Corbusier, permitir que a opção da cobertura dos edifícios fosse plana, ao invés da cobertura inclinada tradicional, ajudando assim à expansão da utilização das coberturas e, conseqüentemente, às coberturas com vegetação.

Embora Le Corbusier tivesse uma opinião extremamente favorável à adoção desta solução para os edifícios, nunca se preocupou muito com as questões mais estéticas da colocação da vegetação, tendo sempre um olhar mais pragmático para os benefícios funcionais. Os exemplos mais vinculados do seu trabalho nesta área são a construção de uma casa nos arredores de Paris, casa Savoye (figura 26 e figura 27), terminada em 1929, com a utilização de canteiros sobrelevados, as casas Dom-ino por volta de 1915 e um edifício governamental na Índia, na cidade de Punjab, de nome *Chandigarh*, entre 1952 e 1956 (OSMUNDSON, 1999).



Figs. 26 e 27 – Modelo maquete da LEGO e fotografia da casa Savoye, arredores de Paris

Fontes: <http://simbiosisgroup.net/2346/le-corbusier-villa-savoye-lego> e
<http://montakasa.wordpress.com/2013/11/18/villa-savoye-le-corbusier/>

Ainda antes da segunda Grande Guerra, em Nova Iorque, foi construído entre 1930 e 1939 o complexo *Rockefeller Center* (figura 28), projetado por Raymond Hood, que integra um conjunto de terraços ajardinados. Esta cobertura possui, ainda, as membranas de impermeabilização originais (KOHLE, 2003).

Pela mesma altura, mas em Londres, o armazém Derry & Toms edificou uma cobertura ajardinada com 6.000 m² de área e cerca de 35 metros de altura no topo do seu edifício (figura 29 e figura 30). Situado na zona de Kensington, esta cobertura

ajardinada ainda hoje existe e possui diversos elementos como peças escultóricas, lagos e pontes. Em 1981 foi adquirido pelo empresário Richard Branson e, por isso, o edifício é conhecido nos dias de hoje como Edifício *Virgin*, empresa que assumiu a exploração do espaço. Possui uma vegetação muito variada, com diversas espécies de árvores típicas do bosque britânico, passando por inspirações dos jardins espanhóis e árabes. É um dos exemplos de coberturas ajardinadas mais marcantes do último século (OSMUNDSON, 1999).



Figs. 28, 29 e 30 – Fotografia do *Rockefeller Center* à esquerda, ao centro e à direita do armazém Derry & Toms

Fontes: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rockefeller_Center_Rooftop_Gardens_2_by_David_Shankbone.JPG e

<http://thevintagenotebook.com/an-evening-on-a-roof/>

Já durante a segunda Guerra Mundial foi construída na cidade de São Francisco, na Califórnia, a primeira cobertura ajardinada no cimo de um parque de estacionamento subterrâneo. O *Union Square*, alvo de grande mudança ao longo dos anos, foi intervencionada entre 1939 e 1941 dando, então, origem no seu subsolo a um parque com 1700 lugares de estacionamento.

Esta intervenção em São Francisco foi um caso esporádico, pois os críticos anos 30 da Grande Depressão e os anos da segunda Guerra Mundial, que durou de 1939 a 1945, ficaram marcados pelo estagnar da construção de grandes obras públicas, tanto nos Estados Unidos da América como na Europa. Dessa forma também as coberturas ajardinadas passaram mais uma época de pouca evolução na sua distribuição, até ao final dos anos quarenta.

Passados os anos de guerra, uma nova visão começou a emergir e diversas coberturas ajardinadas foram surgindo entre os anos de 1950 e 1960. Vistas como uma solução mais ecológica, e na tentativa de devolver a vegetação às cidades, são escolhidas em detrimento das coberturas tradicionais, principalmente no norte dos continentes Americano e Europeu. Na Inglaterra, Sir Geoffrey Jellicoe, instalou a cobertura do *Harvey's Store* (figura 31), em Guildford, no ano de 1958. Nos Estados

Unidos da América, foram construídas as coberturas da *Constitution Plaza* em Hartford, da *Mellon Square* em Pittsburgh e em São Francisco foi edificada a *Portsmouth Square* (OSMUNDSON, 1999).



Fig. 31 – Fotografia dos anos sessenta da cobertura do *Harvey's Store*

Fonte: http://www.francisfrith.com/guildford/photos/the-roof-garden-c1960_g65128/#utmcsr=google.pt&utmcmd=referral&utmccn=google.pt

No ano de 1977, dá-se a criação da Sociedade Alemã da Pesquisa da Paisagem, conhecida por FLL, que juntamente com várias universidades germânicas, começam um estudo sobre as coberturas ajardinadas e os seus principais componentes. Estes estudos vão fazer com que os benefícios destas coberturas sejam, finalmente, contabilizados e faz com que as coberturas comecem a ser vistas pelos construtores como soluções sérias, com rigor científico e economicamente vantajosas (CORREA, 2001). Nos anos oitenta, na Alemanha, dá-se um crescimento anual entre os 15 e 20%, devido aos fortes incentivos de várias cidades alemãs, tanto no auxílio de custo da sua produção, como ao nível de benefícios fiscais. Outros países europeus adotaram esta estratégia de apoio, e impuseram mudanças à sua legislação, contribuindo significativamente para a expansão das coberturas ajardinadas (ROHRBACH, 2004).

Até aos dias de hoje muitas outras coberturas ajardinadas têm sido projetadas e erguidas, um pouco por todo o planeta, sendo que ainda estamos no início de uma solução que já não deixa ninguém indiferente. Novos métodos e materiais têm surgido, tornando estas coberturas cada vez mais económicas e acessíveis a todos, apesar de muitos dos edifícios que poderiam acolher este tipo de solução não o fazerem.

2.2.1 - Coberturas Ajardinadas em Portugal

As primeiras coberturas ajardinadas em edifícios começaram a surgir em Portugal em meados do século XX, finais da década de cinquenta e inícios da década de sessenta. As águas de Lisboa já anteriormente tinham adotado esta solução, com sucesso, para a termo-regulação das águas da capital, como visto na figura número 3 do capítulo da introdução.

O primeiro edifício de referência, em Portugal, a receber uma cobertura ajardinada foi o Hotel Garbe, em Armação de Pêra, concelho de Silves, no Algarve. Estávamos no início dos anos sessenta e foi obra dos arquitetos Ferreira Chaves e Vítor Sousa Figueiredo que, assim, projetaram uma das primeiras coberturas com vegetação a ser edificada em Portugal.

No final dos anos sessenta, os arquitetos paisagistas Albano Castelo Branco, Álvaro Dentinho e António Viana Barreto projetaram uma cobertura ajardinada para o Hotel Ritz, em Lisboa. A experiência adquirida por Viana Barreto com a construção desta cobertura revelou-se decisiva mais tarde quando, no início da década de setenta, juntamente com o arquiteto paisagista Gonçalo Ribeiro Telles, projetaram a cobertura ajardinada da Fundação Calouste Gulbenkian no topo do parque de estacionamento do edifício.

Portugal viveu momentos conturbados durante os anos sessenta, tendo passado pela Revolução dos Cravos em 1974, e, dessa forma, teve que se esperar quase uma década para ver nascer uma nova cobertura ajardinada em território nacional. Foi no início década de oitenta, na zona de Picoas, em Lisboa, projetada para o edifício da Portugal Telecom, autoria do arquiteto paisagista Manuel Sousa de Campos. (VARELA, 2011).

Nos anos noventa surge o Jardim das Oliveiras, obra do atelier do arquiteto paisagista Francisco Caldeira Cabral, no topo de um parque de estacionamento do Centro Cultural de Belém. Muitas habitações privadas começam, por volta dessa altura, a adotar as coberturas ajardinadas como solução ao invés das coberturas planas mais tradicionais (COSTA, 2010). Também no final dos anos noventa ocorre em Lisboa a Expo 98. A exposição mundial, que decorreu durante o verão de 1998, foi uma impulsionadora da construção, com as técnicas mais modernas e inovadoras do mercado, que permitiram construir edifícios ecológicos e energeticamente eficientes. A nova zona oriental de Lisboa, chamada após a exposição mundial de Parque das

Nações, conta com vários edifícios onde a vegetação não foi esquecida como material de construção. A Torre Verde, da arquitecta Livia Tirone, é um desses exemplos, tendo sido o primeiro edifício bioclimático de habitação em Portugal, e que conta com vegetação no seu edificado (PEREIRA, 2009).

Em 2002 é inaugurada a cobertura ajardinada do Centro de Documentação e Informação, do Palácio de Belém, em Lisboa, obra do atelier do arquiteto Carrilho da Graça. Esta cobertura ajardinada é alvo de uma análise mais profunda no capítulo 5 deste relatório de estágio, sendo apresentada como um caso de estudo.

Alguns arquitetos portugueses de grande expressão como Álvaro Siza Vieira, Joaquim Massena e Souto Moura têm também contribuído para a disseminação das coberturas ajardinadas, integrando esta solução em alguns dos seus projetos mais conhecidos. É exemplo disso o edifício da estação da Trindade, pertencente ao metro do Porto. Obra do arquiteto Souto Moura, foi inaugurado no ano de 2003 e possui uma cobertura ajardinada que permitiu requalificar a zona envolvente em pleno centro da cidade do Porto. No mesmo ano foi inaugurado para o campeonato da Europa de futebol, que decorreu no nosso país no ano de 2004, o Estádio Municipal de Braga. Souto Moura foi também o seu autor. Foi construído no local de uma antiga pedreira, inaugurado em 2003, e é uma obra de referência, tendo já recebido diversos prémios. A sua arquitetura moderna e o brilhante enquadramento paisagístico valeram diversos elogios internacionais ao arquiteto português. O relvado está assente sobre o parque de estacionamento do estádio, daí ser considerada uma cobertura ajardinada. A decisão da construção subterrânea do parque de estacionamento, devido à falta de espaço na sua envolvente, possibilita a função desportiva enquanto fica preservado o ambiente em redor do recinto desportivo.

Em 2006 foi inaugurada uma cobertura ajardinada na sede do Banco Mais, em Lisboa, da autoria de Gonçalo Byrne. No ano de 2007, o Externato Carvalho Araújo, em Braga, inaugurou novas instalações que contemplaram a vegetação como cobertura. No Alentejo, no mesmo ano, a Adega Mayor, obra de Álvaro Siza Vieira, foi construída, em Portalegre. O edifício possui uma cobertura ajardinada com um espelho de água, projetada com o objetivo de enquadrar o edifício no ambiente e na paisagem que o cercam, minimizando ao máximo o impacto paisagístico. A cobertura ajardinada contribui para a eficiência energética do edifício, nomeadamente na manutenção da temperatura, numa região de grandes amplitudes térmicas. Possui um, muito elogiado, enquadramento na paisagem alentejana e tem as condições ideais para a produção e conservação vinícola.

Em 2010, foi instalada a maior cobertura ajardinada em Portugal. Está situada no centro logístico da empresa Sonae, no concelho da Maia, e trata-se de uma cobertura ajardinada intensiva, cobrindo uma área de cerca de 2 hectares, sendo da autoria da arquiteta paisagista Laura Roldão Costa. Já a Academia de Música de Vilar do Paraíso, em Vila Nova de Gaia, teve o seu edifício inaugurado também em 2010 e foi projetada pelo arquiteto Joaquim Massena. Na sua conceção o arquiteto utilizou, para melhor enquadramento na paisagem circundante e diminuição do ruído externo, a opção de cada bloco do edifício ter uma cobertura ajardinada. Neste mesmo ano é também inaugurada a Quinta do Portal, em Sabrosa, obra de Álvaro Siza Vieira. Com os conhecimentos adquiridos da cobertura ajardinada da Adega Mayor, em Portalegre, Álvaro Siza Vieira volta a recorrer a uma cobertura deste género para funções da prática vinícola. O edifício, projetado com preocupações ecológicas, tem como função servir de armazém de estágio e envelhecimento de vinho. Conta no seu edificado com uma escolha ecológica de materiais de construção, tendo a cortiça um grande destaque.

Em 2011, obra dos arquitetos paisagistas João Nunes e Carlos Ribas, surge a cobertura ajardinada da ETAR de Alcântara, numa zona central da cidade de Lisboa, com o objetivo de preservação ambiental. A cobertura da ETAR existente no local permitiu uma requalificação paisagística e ambiental da zona. Um ano depois, em 2012 é inaugurado o Hospital Beatriz Ângelo, no município de Loures, contendo, também, uma cobertura com vegetação. Em outubro, do mesmo ano, no município de Ponte de Lima, abre aos estudantes o pavilhão do Centro Educativo de Lagoas, que possui uma cobertura ajardinada com uma inclinação acentuada.

Mais recentemente, inaugurado em 2013, o Centro de Artes Nadir Afonso, em Boticas, conta com uma cobertura ajardinada inspirada em obras do autor transmontano. A cobertura auxilia também na eficiência energética do edifício, mantendo o conforto térmico. A nova praça de Lisboa, denominada Passeio dos Clérigos, junto à Torre com o mesmo nome, é obra do arquiteto Pedro Balonas e foi inaugurada em finais de 2013. Alvo de grande transfiguração ao longo do tempo, a praça viu assim recuperar a vegetação de outrora, contando com oliveiras centenárias e com um relvado que permitem, ao novo espaço, recuperar a atividade turística e comercial.

Já no ano de 2014 o novo Hospital de Amarante, pertencendo ao Centro Hospitalar Tâmega e Sousa, foi inaugurado e conta com uma cobertura ajardinada na sua estrutura.

O Hospital Beatriz Ângelo (figura 32) e o Hospital de Amarante (figura 33) são dois casos de relevo, ainda escassos a nível internacional, em que as coberturas ajardinadas e a saúde se interligam.



Figs. 32 e 33 – Fotografia do Hospital Beatriz Ângelo e do Hospital de Amarante, respetivamente

Fontes: [http://3.bp.blogspot.com/-](http://3.bp.blogspot.com/-GMTuhHmZnpU/T7_XpSokkQI/AAAAAAAAArc/TEPENa2DKt8/s1600/hospital_loures_beatriz_angelo3_Lusa.jpg)

[GMTuhHmZnpU/T7_XpSokkQI/AAAAAAAAArc/TEPENa2DKt8/s1600/hospital_loures_beatriz_angelo3_Lusa.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-GMTuhHmZnpU/T7_XpSokkQI/AAAAAAAAArc/TEPENa2DKt8/s1600/hospital_loures_beatriz_angelo3_Lusa.jpg) e

<http://payload142.cargocollective.com/1/9/302712/5152978/247.jpg>

A figura 34 mostra uma linha do tempo em que é possível observar, de uma forma sintética, as principais coberturas identificadas em território nacional.

Linha do tempo

Evolução das Coberturas Ajardinadas em Portugal





Fig. 34 – Linha do tempo – Evolução das Coberturas Ajardinadas em Portugal

Fonte: Autor

2.3 - Tipos de coberturas ajardinadas

A IGRA (International Green Roof Association) distingue as coberturas ajardinadas em três tipos: coberturas intensivas, coberturas semi-intensivas e coberturas extensivas (figura 35).

Os fatores que as distinguem vão desde os custos necessários na fase de instalação, e posterior manutenção, o tipo de utilização para o qual a cobertura é destinada, a escolha da vegetação, altura do substrato e, consequentemente, o peso da cobertura na estrutura do edifício que a vai acolher.

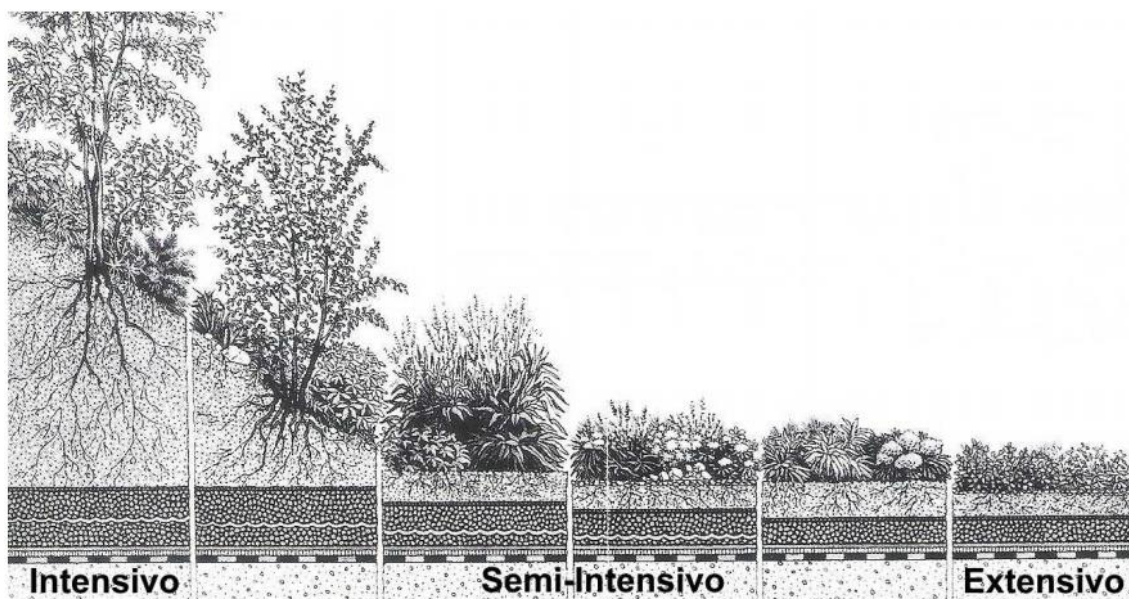


Fig. 35 – Representação esquemática dos três diferentes tipos de coberturas ajardinadas

Fonte: Osmundson, 1999, p. 182

Nos próximos pontos serão descritos, considerando cada um dos fatores, os três tipos de coberturas ajardinadas identificados.

2.3.1 - Coberturas Ajardinadas Intensivas

As coberturas ajardinadas do tipo intensivo são projetadas para permitirem uma utilização semelhante aos jardins convencionais e permitem a instalação de uma grande variedade de espécies vegetais, que podem ir desde relvados e arbustos a árvores de pequeno e médio porte, criando habitats bastante diversos. Requerem uma boa manutenção, sistema de rega e uma profundidade de solo adequada ao sistema radicular da vegetação instalada. Este tipo de coberturas pode também acolher

estruturas que vão desde mesas e bancos de jardim, passadiços, parques infantis, lagos, entre outros, e algumas delas têm sido inclusivamente exploradas para fins como a produção de hortícolas (IGRA, 2014).

Como nos jardins convencionais, o sentido estético está presente na disposição da vegetação, e na orientação dos caminhos traçados ao longo da cobertura. Isto permite ao utilizador usufruir de todas as experiências que seriam possíveis num jardim convencional, ao nível do solo. A manutenção é executada consoante as necessidades individuais, assim como são tidas em conta as necessidades de rega e fertilização de cada espécie.

São instaladas normalmente em edifícios construídos de raiz, devido à carga intensa a que a estrutura do edifício fica sujeita, embora na atualidade esse valor já seja mais baixo do que nas primeiras coberturas ajardinadas, devido à utilização de substratos mais leves. A espessura do substrato normalmente utilizado fica entre os 15 e 40 cm, 15 cm como valor mínimo, sendo que os 40 cm podem ser ultrapassados dependendo das necessidades de algumas espécies. Segundo a IGRA, a estrutura do edifício terá de suportar um valor entre 150 e 500 kg/m², para os valores normais de espessura do substrato e restantes camadas. A figura 36, da cobertura do Passeio dos Clérigos, é um exemplo de uma cobertura ajardinada intensiva.



Fig. 36 – Fotografia aérea de uma cobertura ajardinada do tipo intensivo, Passeio dos Clérigos, no Porto

Fonte: http://marabo2012.files.wordpress.com/2013/06/imagem_anjo_clerigos.jpg

2.3.2 - Coberturas Ajardinadas Semi-intensivas

O conceito de coberturas ajardinadas semi-intensivas acaba por ser um conceito relativamente recente, que tem vindo a ser explorado por vários projetistas de modo a tentar obter o melhor das coberturas extensivas, mas com a possibilidade de permitir a utilização do espaço.

A espessura de substrato utilizado situa-se entre os 12 e os 25 cm, a carga entre os 120 kg/m² e os 200 kg/m², o que permite diminuir a carga sobre a estrutura do edifício em relação às coberturas intensivas, mas com um leque mais alargado de possibilidades de espécies em relação às coberturas do tipo extensivo. A manutenção e a rega necessitam de ser regulares, tendo em atenção as necessidades das espécies utilizadas. Os custos associados, fase de instalação e manutenção, são superiores aos das coberturas extensivas, mas inferiores quando comparados com as coberturas do tipo intensivo.

2.3.3 - Coberturas Ajardinadas Extensivas

As coberturas ajardinadas do tipo extensivo são projetadas, regra geral, de uma forma em que não é possível a sua utilização para recreio e lazer. O objetivo da sua implementação passa pelos benefícios energéticos que estas trazem aos edifícios em relação às coberturas planas tradicionais, sem esquecer o lado estético e ecológico que lhes está associado, embora em alguns casos estas não sejam facilmente visíveis, podendo, no entanto, ocupar áreas de grande dimensão.

Atualmente, são as coberturas ajardinadas mais projetadas e as que apresentam menores custos em todas as fases. Possuem um custo baixo na fase de instalação, e um custo mínimo na fase de manutenção. O uso de sistema de rega não é obrigatório, mas é aconselhado em climas como o do território português. A camada de substrato, nas coberturas extensivas, é a que apresenta uma menor espessura, na ordem dos 6 a 20 cm de profundidade. Em Portugal é aconselhado o valor mínimo de 8 cm devido às características do nosso clima, e a carga sobre a estrutura do edifício é de 100 kg/m² (ANDRADE, 2007).

A vegetação mais utilizada passa por musgos, gramíneas e plantas suculentas, sendo que o género *Sedum* é o mais utilizado nas coberturas extensivas devido às suas características de resistência às condições meteorológicas e às suas qualidades

estéticas. A vegetação utilizada deverá ter a capacidade de se regenerar sem dificuldades, sendo por isso extremamente importante que as espécies escolhidas sejam autóctones ou que estejam perfeitamente adaptadas ao meio.

Devido às suas características e ao menor tamanho da vegetação, podem ser instaladas, com as mudanças necessárias na estrutura, em coberturas com uma inclinação acentuada até 35°. Em coberturas planas, com declive inferior a 2°, também é possível a sua instalação tendo, porém que se proceder a alterações na camada de drenagem, devido a possíveis acumulações de água. A cobertura da figura 37, é um exemplo de uma cobertura ajardinada extensiva, em que o género *Sedum* foi escolhido como vegetação.



Fig. 37 – Cobertura ajardinada do tipo extensivo, casa particular em Vila Nova de Gaia

Fonte: <http://www.neoturf.pt/pt/portefolio/project/vila-nova-de-gaia>

A tabela 1, resume as características dos três tipos de coberturas ajardinadas.

Tabela 1 – Resumo das principais características das coberturas ajardinadas

Fonte: Palha, Paulo, Jardins de Cobertura, 2011 (Adaptado)

	Extensivas	Semi-Intensivas	Intensivas
Utilização	Ecológico (não utilizáveis)	Jardim	Jardim / Parque
Tipo de Vegetação	Musgos, Herbáceas, Gramíneas	Herbáceas, Gramíneas, Arbustos	Relvado, Perenes, Arbustos, Árvores
Benefícios	Reserva de água > Eficiência térmica > Biodiversidade	Reserva de água > Eficiência térmica > Biodiversidade, Uso	Reserva de água > Eficiência térmica > Biodiversidade, Uso
Altura do Substrato	60 – 200 mm	120 – 250 mm	150 – 400 mm
Peso (saturado)	60 – 150 kg/m ²	120 – 200 kg/m ²	180 – 500 kg/m ²
Tipo de Manutenção	Inexistente / Baixa	Periódica	Elevada
Necessidade de Rega	Não / Sim	Não / Sim	Sim

2.4 - Variantes de coberturas ajardinadas

As coberturas ajardinadas devem ter como base uma estrutura suficientemente forte que permita a sua sustentação, uma vez que estamos a falar de sistemas que exercem uma carga superior às coberturas tradicionais sobre o edificado. No entanto, quando falamos em coberturas ajardinadas, não estamos a falar somente de coberturas dos edifícios tradicionais tais como habitações ou edifícios com vários andares de altura. Construções subterrâneas, como parques de estacionamento ou linhas de metro, podem possuir na parte superior, ao nível do solo, uma cobertura que contenha vegetação.

A cidade de Linz, na Áustria é, desde 2007, um dos exemplos de como as coberturas ajardinadas podem ser utilizadas, com sucesso, a ocultar uma autoestrada paisagisticamente desagradável, em meio residencial, como pode ser visualizado na figura 38. Nesta caso específico ajudam, ainda, a evitar o ruído provocado pelos automóveis e a proteger da respetiva libertação dos gases perto das áreas de residência.



Fig. 38 – Autoestrada A7 numa zona residencial em Linz, na Áustria, com uma cobertura ajardinada no topo

Fonte: Fotografia de H. Pertlwieser (2013)

Os *eco-roof* (figura 39) são as coberturas com vegetação, que envolvem um conceito mais ecológico. Têm uma grande presença na cidade de Portland, no estado do Oregon, nos Estados Unidos da América. São implementados nas coberturas dos edifícios, e sem que sejam considerados um tipo ou variante diferente, não necessitam de tratamento, rega, nem de manutenção após a instalação, o que faz com que ao longo do ano a vegetação vá variando de cor ao longo das estações do ano,

acabando, a cobertura, por adquirir uma aspeto mais natural que os *green roof* mais usuais.



Fig. 39 – Um dos *Eco-roofs* de Portland, Estados Unidos da América

Fonte: <http://www.greenroofs.com/blog/2010/03/05/ecorooft-portland-inspiring-fun-free/>

Nos últimos anos surgiu também um novo conceito que consiste em potenciar a biodiversidade nas coberturas. De termo inglês *Brown Roof* (figura 40), estas estruturas são projetadas para recriarem os habitats das zonas onde estão inseridas e são, por vezes, utilizados na sua cobertura, restos de materiais de construção, misturados com solo local para a colocação da vegetação. Em algumas destas coberturas a estrutura da cobertura ajardinada é implementada sem a colocação da vegetação, esperando que a natureza se apodere do local através da colonização espontânea. Para além das espécies de vegetação, as aves e invertebrados são quem mais beneficia com estes novos habitats que estão a ser criados no topo dos edifícios. Os *Eco-Roofs* têm também a vantagem de a manutenção ser praticamente inexistente.



Fig. 40 – Brown Roof no topo do edifício Laban Dance Centre, em Londres

Fonte: http://www.urbanhabitats.org/v04n01/invertebrates_fig2.html

2.5 - Composição

A composição das coberturas ajardinadas segue uma metodologia similar, independentemente do tipo de cobertura que pretendemos implementar. Embora, em cada um dos diferentes componentes existam várias alternativas específicas para obter a melhor adaptação possível ao meio onde esta se insere, no geral os componentes presentes num *green roof* moderno seguem uma estrutura semelhante ao da figura 41.

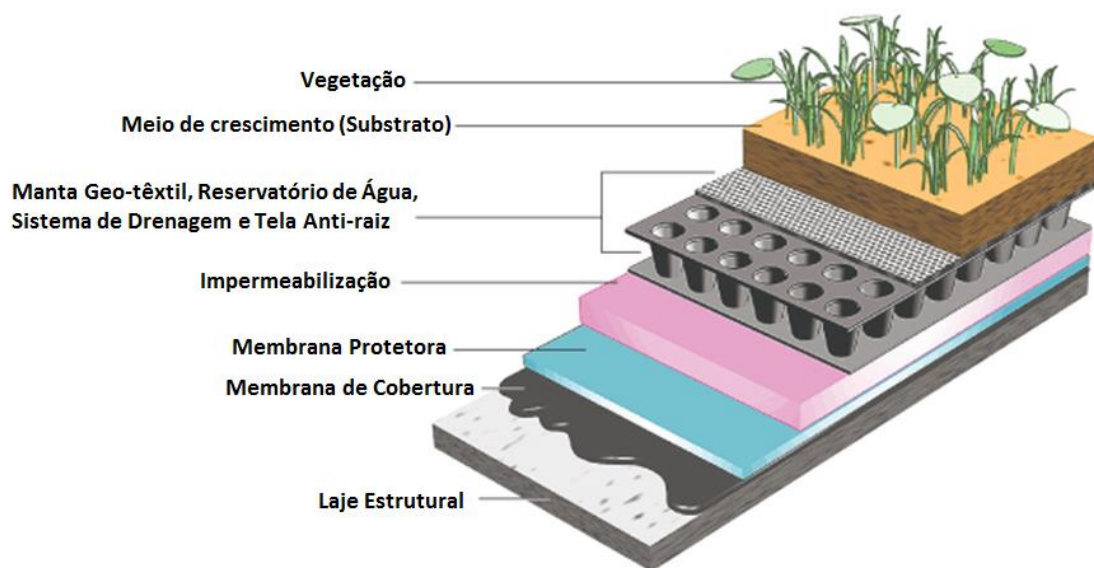


Fig. 41 – Composição típica de uma Cobertura Ajardinada

Fonte: http://si.wsj.net/public/resources/images/EV-AA046A_ROOF_NS_20081003164014.gif (Adaptado)

Os vários componentes de uma cobertura ajardinada estão organizados de forma a otimizar o conjunto, tendo cada um dos seus constituintes uma função específica importante no funcionamento global da estrutura. Assim, torna-se imperativo o conhecimento pleno do local de instalação, de forma a evitar falhas que poderão provocar problemas difíceis de solucionar quando esta já está em funcionamento. O declive da cobertura, a carga da cobertura ajardinada, quando saturada, na estrutura do edifício, a resistência a fatores externos como ventos e precipitação e a capacidade de resistência à penetração das raízes, são aspetos essenciais a ter em conta no planeamento e instalação de uma cobertura ajardinada. Os componentes descritos na figura 41 serão pormenorizados no capítulo três, do presente relatório.

2.6 - Manutenção

As coberturas ajardinadas, assim como os espaços verdes ao nível do solo, necessitam de uma manutenção regular. Essa manutenção vai depender do tipo de cobertura ajardinada implementada, da vegetação que se encontra na cobertura e das necessidades inerentes à própria estrutura como inspeção e limpeza do sistema de escoamento e drenagem.

No caso das coberturas ajardinadas do tipo extensivo, essa manutenção pode ser mínima e limitada a uma vez por ano. Para além da inspeção e limpeza do sistema de escoamento e drenagem, pode ser necessária a remoção de espécies infestantes da cobertura e a utilização de fertilizante. A replantação de vegetação em zonas em que esta possa estar em falta também pode ser uma medida de gestão necessária.

Já nas coberturas semi-intensivas e intensivas a manutenção deverá ser mais exigente. Atendendo às características da vegetação, que necessitará de uma manutenção como a que teria ao nível do solo, estando, ainda, alerta por se estar a trabalhar num meio mais exigente para as plantas, já que existem condicionalismos impostos pelo meio ambiente exterior em altura. Nestes casos, também é importante ter em conta a inspeção e limpeza do sistema de escoamento e drenagem, a remoção de espécies infestantes da cobertura e a replantação de vegetação em zonas em que esta possa estar em falta. Como nas coberturas ajardinadas extensivas, a utilização regular de fertilizante poderá ser equacionada. É importante proceder ao corte dos relvados e prados, de forma a evitar a proliferação de fungos, e podar a vegetação arbórea e arbustiva quando for necessário.

A inclusão, num clima como o de Portugal, de um sistema de rega, na altura da instalação da cobertura, é também necessário para os diferentes tipos de coberturas ajardinadas. Nos meses de verão, em que os valores de precipitação descem para os valores mais baixos do ano, é importante manter a vegetação com níveis de água que evitem o chamado stress hídrico, que pode levar à baixa performance da cobertura. O sistema de rega poderá ser de rega localizada ou aspersão, sendo que o primeiro deverá ser mais eficiente em coberturas ajardinadas do tipo extensivo.

Os jardineiros de manutenção de coberturas deverão ter alguma formação na área de manutenção em coberturas ajardinadas, pois existem certos cuidados a ter de forma a evitar danos de maior, não só na vegetação, mas também nos vários componentes do sistema da cobertura e na própria impermeabilização (RUSSEL, 2010). A própria segurança dos profissionais deve ser tida em conta uma vez que trabalhar em altura apresenta riscos. Na figura 42 pode ser observado um sistema de proteção a ser utilizada pelos serviços de manutenção.



Fig. 42 – Sistema anti-queda utilizado pelos serviços de manutenção

Fonte: <http://www.archiexpo.com/prod/zinco/fall-protection-anchor-systems-green-roofs-66390-481807.html>

2.7 - Benefícios

Como já referido anteriormente, o homem, desde a Revolução Industrial, sentiu necessidade de alterar as suas técnicas de construção de forma a ir ao encontro de princípios mais ecológicos que cumpram os pressupostos da construção sustentável. A aplicação de vegetação nas coberturas pode ser uma parte importante de uma

mudança para um futuro mais “verde” e sustentável pelos benefícios que vão ser, seguidamente, apresentados.

As coberturas ajardinadas apresentam diversos pontos positivos que prometem, nos próximos anos, vir a ajudar em causas, tão diferentes, como o combate às alterações climáticas ou aos novos desafios urbanísticos das cidades. No entanto, para que estes benefícios sejam verdadeiramente sentidos, é necessário que seja feita uma aposta credível nesta solução pelas entidades decisoras. Para que isso seja possível, torna-se imperativo, dar a conhecer o tão importante contributo que as coberturas ajardinadas podem proporcionar.

Os benefícios da aplicação de uma cobertura ajardinada podem ser identificados quando analisados a larga escala ou a pequena escala. Depreendemos como grande escala uma cidade ou região e a pequena escala o próprio edifício onde a cobertura se localiza. Nas coberturas ajardinadas podemos identificar benefícios de ordem ambiental, social e económico. Estes três grandes grupos, quando pormenorizados, dividem-se em vários benefícios que vão ser seguidamente analisados.

2.7.1 - Benefícios Ambientais

2.7.1.1 - Qualidade do ar

A qualidade do ar em ambiente urbano está intimamente relacionada com a saúde da população. Atualmente, diversos estudos que relacionam problemas na qualidade do ar com doenças do sistema respiratório e aparecimento de tumores têm sido analisados pela comunidade académica. As coberturas ajardinadas podem, através da vegetação, ter um papel importante no combate à poluição do ar atmosférico das zonas urbanas, melhorando no geral as condições de saúde das populações (ROWE, 2011). As plantas, para além da renovação do ar através da fotossíntese, têm a capacidade de funcionar como um filtro urbano que impede a passagem de certas partículas poluentes presentes no ar atmosférico, inclusivamente metais pesados, fixando-as e fazendo, depois, através da água da chuva, a sua expulsão do meio. Também os gases poluentes são fixados pela vegetação, sendo neste caso absorvidos, e integrados em tecidos vegetais. A retenção de cádmio, cobre e chumbo estima-se em valores bastante elevados, a rondar os 95%, sendo para a retenção de zinco de 16% (Peck, *et al.*, 1999).

2.7.1.2 - Redução do efeito “Ilha de Calor”

Como já referido anteriormente, mais de metade da população mundial vive em cidades. O aumento diário da população urbana, e a consequente necessidade de habitação, fazem com que a área impermeável também aumente. Os materiais utilizados nas coberturas convencionais absorvem os raios solares e, mais tarde, vão emitir calor que fazem as temperaturas das cidades aumentar cerca de 4º C em média, em relação às áreas rurais adjacentes. Por esta razão as ondas de calor nas cidades são cada vez mais comuns, provocando um aumento de energia consumida para manter o conforto térmico e, agravando o estado de saúde de grupos de risco como crianças, idosos e doentes crónicos (ZINZI, 2012).

As coberturas ajardinadas poderão contribuir para um arrefecimento à escala local, por ação da vegetação através da evapotranspiração, retenção de humidade e sombreamento. Um dos benefícios que, devido à sua complexidade, se torna mais difícil de ser contabilizado é o efeito ilha de calor. Alguns estudos têm sido feitos para demonstrar a contribuição das coberturas ajardinadas para a redução desse efeito de subida de temperatura. O estudo mais citado é o de Bass, *et al.* (2002), que através de um modelo matemático aplicado à cidade de Toronto, no Canadá, e admitindo que 50% dos edifícios do centro urbano possuíam uma cobertura ajardinada, verificou o decréscimo de 0,5º C na temperatura média da cidade. Para o mesmo modelo matemático, o sistema verifica um decréscimo de 2º C quando aplicado um sistema de rega às coberturas com vegetação. Isto devido a uma evapotranspiração efetiva, mesmo em períodos de seca mais prolongados (NEOTURF, 2013). Na figura 43, pode ser observada a variação de temperatura, num dia ao final da tarde, que demonstra o efeito ilha de calor.

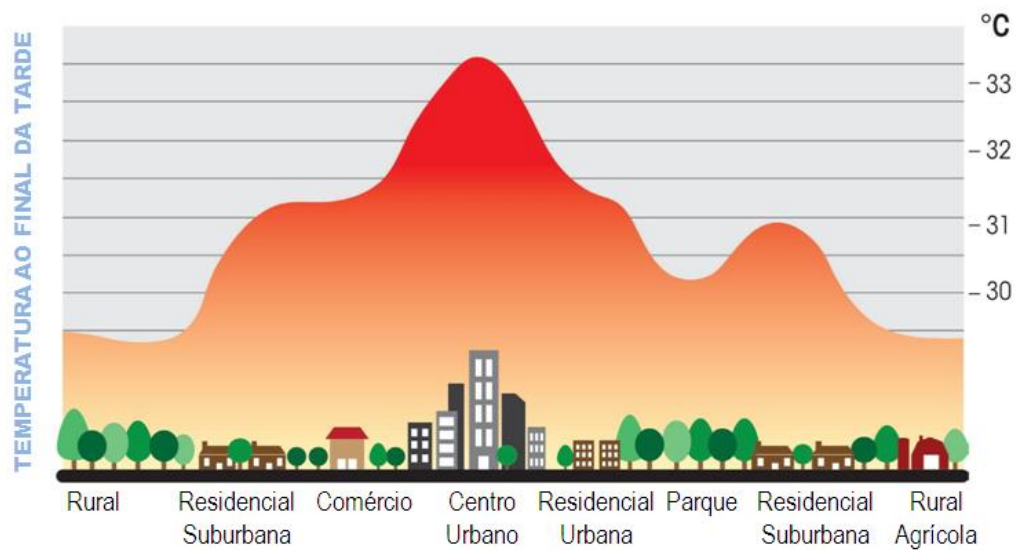


Fig. 43 – Variação da temperatura, ao final da tarde, demonstrativa do efeito ilha de calor

Fonte: <http://www.cleanairpartnership.org/files/urbanheatisland.jpg> (Adaptado)

2.7.1.3 - Gestão de águas pluviais

Outro dos problemas que o aumento de área impermeabilizada nas cidades acarreta é como fazer uma gestão eficaz de águas pluviais. Esta questão começa, cada vez mais, a estar no topo das prioridades de algumas das maiores cidades mundiais pois a ameaça de cheias é uma realidade sempre que se dá um aumento mais brusco de pluviosidade. A chuva de curta duração, mas de grande intensidade, é o suficiente para fazer aumentar o caudal para níveis que o sistema de águas pluviais urbanas não consegue comportar. Como Peck *et al.* (1999) demonstra, num estudo levado a cabo na cidade de Toronto, uma cobertura com 7 cm de espessura de vegetação não efetuou qualquer escoamento durante três meses com uma pluviosidade de 4mm. Nas mesmas condições, uma cobertura com solo “despido” apresentou um escoamento de 48% e uma cobertura de grilha efetuou um escoamento de 68%. Na figura 44, pode ser observado, através do gráfico, como se procede o escoamento numa superfície de cobertura ajardinada, linha a tracejado, durante um evento de chuva intensa, linha contínua azul.

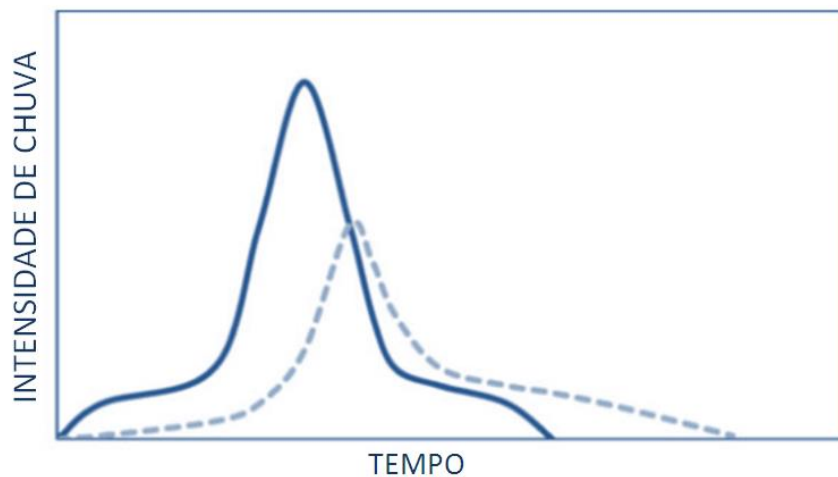


Fig. 44 – Comportamento do escoamento de uma cobertura ajardinada, linha a tracejado, num evento de chuva intensa, linha contínua azul

Fonte: Berndtsson, 2010 (Adaptado)

Pelo benefício da retenção de água, as coberturas ajardinadas podem ser uma solução eficaz, aumentando a percentagem de áreas permeáveis nas cidades que, dependendo da espessura e da vegetação, vão atrasar o escoamento das águas pluviais libertando-as gradualmente quando estas já não serão um problema para a rede de escoamento de águas pluviais urbanas (FIORETTI, *et al.*, 2010). Este tipo de coberturas ajuda também a melhorar a qualidade da água escoada, uma vez que alguns dos poluentes arrastados pela água da chuva ficam retidos no substrato ou na própria vegetação, melhorando consequentemente a qualidade da água dos rios e cursos de água adjacentes (METSELAAR, 2012).

2.7.1.4 - Vento

Reduzir a intensidade do vento, para aumentar o conforto bioclimático no cimo dos edifícios, pode ser conseguido em coberturas ajardinadas do tipo intensivo e semi-intensivo. Isto é particularmente efetivo quando falamos em coberturas com vegetação em altura, uma vez que a velocidade do vento tem tendência a aumentar com a altitude.

A escolha de certas espécies arbóreas e arbustivas, com uma folhagem mais densa, poderá ser importante na efetividade deste controlo. Espécies de folha caduca poderão, no inverno, perder o efeito estanque devido à perda da folha. Nestas condições, a implementação de quebra-ventos em zonas de estadia, de uma cobertura ajardinada utilizável, poderá ser importante para o bem-estar e conforto dos utilizadores.

2.7.1.5 - Biodiversidade

As coberturas ajardinadas são uma excelente alternativa aos *habitats* naturais, uma vez que, embora não possam ser considerados uma alternativa real aos *habitats* tradicionais devido às suas limitações, acrescentam área “viva” ao espaço urbano (FRANCIS, 2011). Podem ser locais de uma grande riqueza biológica e têm um papel importante na promoção do equilíbrio ecológico. A sua maior ou menor riqueza faunística vai porém depender das espécies de plantas introduzidas e das características do substrato (BUTLER, 2012).

As coberturas ajardinadas do tipo extensível, como são projetadas para não terem utilização humana, podem criar *habitats* isolados e, dessa forma, bastante atrativos para certas espécies de aves e invertebrados. Já as coberturas do tipo intensivo apresentam *habitats* semelhantes aos que se encontram em jardins tradicionais, salvaguardando as diferentes altitudes e dependendo, naturalmente, das espécies vegetais escolhidas (NEOTURF, 2013).

2.7.2 - Benefícios Económicos

2.7.2.1 - Agricultura urbana

A produção de alimentos no topo dos edifícios pode ser uma grande mais-valia económica, especialmente para países em vias de desenvolvimento, onde a escassez de alimentos é uma realidade. Também nos chamados países desenvolvidos esta realidade no topo dos edifícios tem ganho seguidores devido às preocupações crescentes da população em ter um maior conhecimento sobre a natureza dos produtos que são consumidos.

Desta forma, o hotel Fairmont em Vancouver, no Canadá, dá o exemplo. Este hotel possui uma cobertura com vegetação com uma espessura de substrato de 45 cm e uma área de 195 m² e consegue uma poupança anual no orçamento do hotel de 25 a 30 mil dólares canadianos, cerca de 17 a 20 mil euros, por ano cultivando todas as ervas aromáticas que são utilizadas na cozinha do hotel. No topo de um edifício em Greenwich Village, em Nova Iorque, também são cultivadas diversas frutas e vegetais que são utilizadas no Bell Book & Candle, conseguindo uma poupança significativa no transporte dos produtos.

Apesar de todas as vantagens inerentes à produção de alimentos em ambiente urbano, existem também algumas dúvidas, levantadas por especialistas, quanto à qualidade dos alimentos produzidos devido à poluição existente no ar atmosférico urbano. A presença de metais pesados e outros poluentes em frutas e vegetais que serão mais tarde consumidos pelo homem é também um dos problemas das hortas urbanas ao nível do solo.

2.7.2.2 - Eficiência energética

A eficiência energética conseguida com uma cobertura ajardinada tem sido um dos benefícios mais amplamente discutidos por projetistas, arquitetos e engenheiros devido à rentabilização que se consegue obter nas reduções do consumo energético, nomeadamente, com o aquecimento e o arrefecimento nos edifícios (AKBARI, 2004). Os mecanismos de transferência de calor usualmente associados a uma cobertura ajardinada são a condução, a convecção e a evapotranspiração (FENG, 2010).

As coberturas ajardinadas proporcionam, aos edifícios onde estão instaladas, temperaturas no interior menores que as exteriores, nas épocas de calor, diminuindo em cerca de 90% a ação térmica dos raios solares que incidem na cobertura, devido à vegetação existente, sendo que cada redução de 0,5 ° C na temperatura do interior do edifício reduz o consumo de energia, em arrefecimento, em mais de 8%, esta poderá ser uma solução importante para edifícios com um grande gasto energético em diminuir a temperatura (NEOTURF, 2013).

Exemplo deste facto foi encontrado pela Environment Canada, num edifício de escritórios em Toronto, onde foi adotada uma cobertura ajardinada como solução, contendo um substrato com 10 cm de profundidade, reduzindo, na época de calor, em 25% as necessidades do uso do ar condicionado (NEOTURF, 2013).

Ainda segundo outro estudo, a implementação de uma cobertura ajardinada permite obter, ao nível da estrutura do telhado, temperaturas na ordem dos 25 ou 30° C e no interior do edificado 3 ou 4° C abaixo destes valores (Peck, *et al.*, 1999). No Brasil compararam as temperaturas de superfície de uma cobertura ajardinada e de cobertura plana convencional, em localizações próximas, e obtiveram valores de 35,9° C na superfície da cobertura ajardinada e 48,9° C na superfície cobertura convencional (Morais, 2003).

Mais significativa foi a conclusão de um estudo de LIU (2003), em Ontário, no Canadá, que verificou uma redução da energia consumida, com a implementação de uma cobertura ajardinada, na ordem dos 75%.

Embora não sejam tão eficazes nos meses mais frios, as coberturas ajardinadas também são eficientes a manter uma temperatura constante e a evitar perdas de calor, devido ao isolamento, contribuindo ainda para a diminuição do consumo energético para aquecimento (ALEXANDRI, 2008).

2.7.2.3 - Prolongamento do tempo de vida útil da membrana

As coberturas ajardinadas promovem o prolongamento do tempo de vida útil da membrana e restantes materiais constituintes da superfície. Isto acontece devido à proteção dada pela cobertura ajardinada aos materiais isolantes, dos raios ultravioleta, evitando assim o aumento de temperatura da superfície e reduzindo a amplitude térmica (GETTER, 2006).

Em Londres, o edifício Derry & Toms (figura 29 e figura 30) conserva ainda, com uma cobertura ajardinada instalada, a membrana original de 1938. Em Toronto, no Canadá, foi efetuado um estudo que verificou, à mesma hora da tarde, as temperaturas de uma membrana de impermeabilização de uma cobertura ajardinada e de uma cobertura plana convencional. A temperatura medida na membrana da cobertura ajardinada era de 25° C, quando a temperatura da cobertura convencional era de 70° C (NEOTURF, 2013).

2.7.2.4 - Valorização económica

Um edifício, com a implementação de uma cobertura ajardinada, pode verificar uma subida no seu valor económico. Este aumento, segundo diversos autores, fica situado entre 6 a 15% do valor inicial do edifício. A possibilidade, em diversos países, de obtenção de benefícios fiscais é também uma mais-valia económica, para além da criação direta e indireta de emprego.

2.7.3 - Benefícios Sociais

2.7.3.1 - Valorização estética e aumento do espaço útil

Em cidades cada vez mais preenchidas de betão e cimento manifesta-se a necessidade de contrariar a tendência e, mais uma vez, as coberturas ajardinadas

podem significar uma mudança de paradigma na paisagem urbana. Quase todos estamos de acordo quando se diz que as áreas verdes valorizam as cidades. Esta valorização, não é apenas do ponto de vista estético e de integração paisagística, mas também de conforto e bem-estar que estes espaços proporcionam.

As coberturas ajardinadas do tipo intensivo podem também aumentar o espaço disponível para utilização dos edifícios para atividades calmas e tranquilas, assegurando privacidade e segurança aos utilizadores, uma vez que são locais, regra geral, em altitude.

2.7.3.2 - Isolamento acústico

As coberturas ajardinadas podem servir como proteção contra ruídos, sendo que diminuem a intensidade das ondas sonoras emitidas pela passagem de aviões, tráfego automóvel e, até mesmo, de maquinaria industrial. Em Cherry Hill, na Califórnia, o edifício da Gap's 901, devido a situar-se próximo a uma autoestrada com intenso tráfego automóvel e na rota do aeroporto internacional de São Francisco recorreu à instalação de uma cobertura ajardinada para atenuar o problema do ruído. A cobertura com vegetação conseguiu reduzir a intensidade do ruído em 50 decibéis segundo estudos posteriores (NEOTURF, 2013).

O tipo de vegetação e as características do substrato escolhido vão influenciar uma maior ou menor proteção contra o ruído. Segundo um estudo de Minke, de 1982, uma cobertura ajardinada com 12 cm de profundidade de substrato pode reduzir o som até 40 decibéis, já uma cobertura com um substrato com 20 cm pode reduzir o som até 50 decibéis (Peck, *et al.*, 1999).

2.8 - Limitações

A utilização em larga escala, de um sistema de cobertura ajardinada, como alternativa às coberturas convencionais, apenas foi possível há pouco mais de um século. Desta forma, apesar da grande evolução técnica das últimas décadas, ainda é natural a existência de limitações.

Como limitações ambientais temos o meio onde a cobertura ajardinada se encontra. As condições de altitude podem ser adversas, tanto para a vegetação como para a estrutura da cobertura ajardinada. Os fortes ventos e as chuvas intensas são os principais riscos por estarmos em altitude. Construir um espaço verde sobre uma laje

também não permite ao solo completar os seus ciclos naturais, daí ser tão importante efetuar uma correta escolha da vegetação e dar uma especial atenção às características do substrato.

Existem também limitações de ordem técnica. A falta de profissionais especializados na tecnologia das coberturas ajardinadas é um dos graves problemas. As normas existentes no mercado devem ser tidas em conta na elaboração de um projeto de uma cobertura ajardinada e a manutenção deve ser periódica. O lapso de dimensionamento do sistema de drenagem, a utilização de materiais desadequados e a desatenção ou falta de conhecimento da capacidade de carga da estrutura pode levar a inúmeros problemas estruturais e, nos casos mais graves, ao colapso da mesma.

A inclinação pode também ser uma das limitações de uma cobertura ajardinada. Uma grande inclinação, superior a 8%, vai fazer com que a estrutura necessite de apoio na retenção, de forma a evitar o arrastamento pela chuva ou gravidade do substrato e da vegetação, assim como evitar o deteriorar das restantes camadas. A figura 45, da cobertura ajardinada extensiva do Centro Educativo das Lagoas, em Ponte de Lima, é um dos exemplos nacionais de uma cobertura com vegetação com um declive acentuado.



Fig. 45 – Cobertura ajardinada extensiva do Centro Educativo das Lagoas, em Ponte de Lima

Fonte: upwaysystems.com

Baixas inclinações, inferiores a 2%, podem, também, provocar problemas no sistema de drenagem e provocar acumulações de água. A colmatagem do sistema de drenagem pode levar à morte da vegetação, danificar componentes da cobertura ajardinada e aumentar a carga da cobertura sobre o edificado.

O sistema de impermeabilização deve ser examinado ao pormenor, antes da colocação da cobertura ajardinada, de forma a evitar infiltrações no edifício, que poderão ter consequências graves uma vez que um sistema de cobertura com vegetação acumula mais água que uma cobertura convencional. A membrana de impermeabilização deve estar colocada sem falhas, sem remendos e, durante a instalação da cobertura ajardinada, deve existir um cuidado máximo de forma a não ser danificada.

Outras limitações prendem-se a fatores de ordem económica, uma vez que a colocação de uma cobertura ajardinada é, ainda, uma solução mais cara do que uma cobertura convencional. O reforço estrutural nos casos de grande inclinação e baixa inclinação podem também fazer aumentar os custos. No entanto, pelos benefícios apresentados, acaba por ser um investimento rentável a médio prazo (OBERNDORFER, *et al.*, 2007).

3 - Aspetos Técnicos das Coberturas Ajardinadas

3.1 - Legislação aplicável e normalização

Devido à implementação das coberturas ajardinadas em Portugal ser relativamente recente, ainda não existe uma legislação específica para a construção e manutenção deste tipo de coberturas. Este cenário altera-se se tivermos em conta países onde as coberturas ajardinadas foram já amplamente estudadas e adotadas como uma solução viável e ecológica. Esta situação tem, no entanto, tendência para se modificar no nosso país, tendo em conta que os profissionais e decisores estão cada vez mais sensibilizados para a importância de uma construção sustentável, essencial para um desenvolvimento ambientalmente correto. Assim, seria interessante Portugal seguir o exemplo positivo de outros países e considerar a possibilidade da criação de uma legislação específica para a implementação das coberturas ajardinadas, acompanhada de incentivos fiscais e apoios financeiros, que foram fundamentais para o grande crescimento deste tipo de coberturas nos países que adotaram esta postura.

As primeiras orientações para a construção e implementação de coberturas ajardinadas surgiram na Alemanha, país sede de várias empresas do ramo, reconhecida como vanguardista da tecnologia ligada às coberturas com vegetação. A Sociedade Alemã de Pesquisa, Desenvolvimento e Construção da Paisagem criou, em 1982, as primeiras orientações que serviram de base para o guia técnico “FLL Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Greenroofing”, lançado em 1992 e que conta já com várias atualizações posteriores. O guia é uma obra de referência internacional no ramo e possui orientações para o planeamento, construção e manutenção de coberturas ajardinadas (BREUNING, 2008). Outro guia técnico, que começa a ser utilizado em Portugal, pela proximidade e semelhança ecológica e climática com o território espanhol, intitula-se “Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo – Cubiertas Verdes”, baseadas no guia alemão de referência.

A Alemanha, os Estados Unidos da América, a Dinamarca, o Canadá, o Japão e a Suíça são alguns dos países que utilizam legislação própria para as coberturas ajardinadas e, através de benefícios como redução de impostos e financiamento

percentual dos gastos com estas coberturas, incitam à sua construção. Na Alemanha 43% das suas cidades atribuem um incentivo à implementação de coberturas com vegetação (NEOTURF, 2013). Em Toronto, no Canadá, é obrigatório a construção de coberturas ajardinadas em alguns edifícios, assim como em Copenhaga, capital da Dinamarca, em que todas as coberturas construídas com uma inclinação inferior a 30º têm que possuir uma cobertura com vegetação. Em Tóquio, no Japão, existe um plano urbanístico, com orientações técnicas, criado para a implementação de coberturas ajardinadas com o intuito de reduzir o efeito de ilha de calor (CARTER, 2008).

No Canadá foi criado, em 2006, em consequência de preocupações ambientais, o manual “A Resource Manual for Municipal Policy Makers” de auxílio aos municípios para a aplicação de legislação e criação de incentivos à implementação das coberturas ajardinadas (Lawlor *et al.*, 2006). O manual foi escrito com base em doze jurisdições internacionais nomeadas na tabela 2.

Tabela 2 – Jurisdições utilizadas na elaboração do manual

Fonte: Lawlor *et al.*, 2006 (Adaptado)

País	Canadá	E.U.A.	Suíça	Alemanha	Japão	Singapura
Cidade	Montreal Toronto Vancouver Waterloo	Chicago Nova Iorque Portland	Basileia	Múnster Estugarda	Tóquio	Singapura

Neste manual de orientação para o poder local estão estabelecidas seis fases distintas indispensáveis para a aplicação de uma correta política de implementação de coberturas ajardinadas num determinado município, são elas: Introdução e consciencialização; Participação pública; Pesquisa técnica; Plano de ação, desenvolvimento e implementação; Programa de desenvolvimento de políticas e Melhoria contínua.

A primeira fase, da introdução e consciencialização, passa pela sensibilização da população, através dos municípios, para as vantagens da construção de coberturas ajardinadas. Esta promoção pode passar pela realização de eventos como fóruns e colóquios, com exemplos práticos de coberturas existentes e onde são destacados os benefícios ambientais, económicos e sociais das coberturas com vegetação.

Numa segunda fase, denominada participação pública, é onde se reúnem associações, grupos e empresas da região, assim como técnicos especializados, de forma a conseguir apoios, financeiros principalmente, para o desenvolvimento do projeto. Nesta fase são feitos estudos de pontos fortes e fracos, assim como identificadas oportunidades para a implementação das coberturas ajardinadas.

Na fase de pesquisa técnica, é formada uma comissão que tem como objetivo projetar uma cobertura ajardinada experimental, que pode ter os dados monitorizados como forma de controlo e que vai auxiliar a perceção dos benefícios das coberturas ajardinadas para o município. Visitas a coberturas ajardinadas já existentes podem ser importantes. Nesta fase, é também a altura de rever as ferramentas e políticas que estão a ser utilizadas e, se for caso disso, atualizá-las.

A quarta fase é chamada de plano de ação, desenvolvimento e implementação e é nesta fase criado um local de pesquisa para conhecer as potencialidades das coberturas ajardinadas. Normalmente, os municípios optam por estabelecer parcerias público-privadas para estes espaços de investigação, que são muito importantes na quantificação de benefícios.

A fase de programa de desenvolvimento de políticas tem como objetivo estabelecer os apoios financeiros que podem ser atribuídos pela construção de coberturas ajardinadas. Estes incentivos, sejam eles uma percentagem de participação dos custos ou benefícios fiscais, são um dos grandes impulsionadores municipais da construção de coberturas ajardinadas, sejam elas novas construções ou requalificações de edifícios.

A última fase é a de melhoria contínua. É nesta altura que a entidade responsável pela implementação do projeto faz uma análise à eficácia das políticas e dos programas de forma a concluir se o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido é satisfatório. Caso não seja, a introdução de mudanças pode ser importante, tendo em vista o aperfeiçoamento de uma fase anterior, já que ao longo do processo nunca se dá por definitivamente encerrada nenhuma das fases de implementação (Lawlor *et al.*, 2006).

3.2 - Condicionantes e análise prévia

Na elaboração de um projeto de uma cobertura ajardinada, como num projeto de um espaço verde ao nível do solo, a análise prévia das características do local de implantação vai ser determinante para garantir que se fazem as escolhas corretas. Acrescentando o facto de se estar a trabalhar em altura, em que diversos fatores são ampliados, qualquer falha ao nível de projeto pode provocar um desequilíbrio na cobertura ajardinada e impedir que esta funcione plenamente. Corrigir um erro estrutural, depois de a cobertura estar instalada, pode apresentar-se uma tarefa difícil e com custo elevado, daí ser crucial identificar e evitar possíveis lacunas antes da fase de instalação.

O clima é um dos principais fatores a contribuir para o desempenho de uma cobertura ajardinada, situações extremas em altitude podem ter um grande impacto, tais como vento forte, chuva intensa, correntes de ar quente ou ar frio, devendo ser ponderadas na fase de projeto de uma cobertura ajardinada. A escolha de materiais resistentes e a orientação do próprio edifício podem atenuar estas condições limitativas. Para além das diferenças climáticas de cada região, o microclima, variação particular de clima numa região climatérica, deve ser considerado.

A exposição solar pode ser outro fator condicionante no desempenho de uma cobertura ajardinada devido à ação da luz solar sobre a vegetação. Torna-se, por isso, particularmente importante ter em conta, na escolha da vegetação, as suas necessidades solares. No caso da cobertura do edifício ser inclinada, a orientação da cobertura e situações de sombra devem ser analisadas. O vento pode também ter efeitos nocivos sobre a vegetação. Em altura, a velocidade do vento pode ainda ser ampliada, sendo necessário estudar a situação tendo em conta a localização onde a cobertura ajardinada vai ser instalada.

As “Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo – Cubiertas Verdes”, dão-nos uma lista exaustiva de informações prévias que se devem conhecer para uma correta projeção de uma cobertura ajardinada. Nesta informação preliminar são requeridas informações a nível arquitetónico, botânico, climático, instalações, uso, geográficas e ambiente (tabela 3). A análise destes parâmetros vai estabelecer as condicionantes do projeto que vão ser determinantes para definir os critérios de seleção utilizados para a projeção de uma cobertura ajardinada.

Tabela 3 – Informação prévia presente nas “Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo – Cubiertas Verdes”

Fonte: NTJ 11C, 2012 (Adaptado)

Arquitetónica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plantas da cobertura; ▪ Acesso à cobertura; ▪ Situação dos elementos estruturais da estrutura abaixo da cobertura; ▪ Altura, dimensões e carga máxima admissível da cobertura.
Botânica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Características botânicas das espécies (reprodução, crescimento, sistema radicular, etc.); ▪ Características fisiológicas das espécies (tolerância a seca, encharcamento, salinidade; velocidade de crescimento, resistência a temperatura extremas, etc.); ▪ Facilidade de colonização; ▪ Combustibilidade e inflamabilidade; ▪ Plantas alergénicas.
Climática	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clima; ▪ Microclima local (Índice pluviométrico, dias de seca, ventos dominantes, outros); ▪ Regime pluviométrico num período de 10 anos.
Instalações	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento de água para rega; ▪ Outras instalações que passam pela cobertura.
Uso	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nível de utilização (manutenção, uso privado, uso público); ▪ Acesso a peões ou veículos; ▪ Acesso a pessoas com mobilidade reduzida.
Geográficas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordenadas geográficas da localização do edifício; ▪ Topografia local.
Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contaminação urbana; ▪ Emissões (climatizadores, gases de combustão, etc.).

3.3 - Elementos constituintes das Coberturas Ajardinadas

As coberturas ajardinadas, independentemente da sua tipologia, seguem uma estrutura e metodologia comum. A interação entre os vários elementos de uma cobertura ajardinada procura imitar os processos que ocorrem, ao nível do solo, na natureza (KLINKENBORG, 2009). É importante garantir que todos os componentes instalados cumpram devidamente as funções para as quais foram projetados (FLL,

2008). Na figura 46, é possível observar, de uma forma sequencial, os vários componentes de uma cobertura ajardinada, sendo eles vegetação, substrato, camada filtrante, camada drenante, camada de proteção, proteção anti-raiz, membrana impermeabilização e laje estrutural. Em alguns casos, pode ser aconselhada a utilização de uma camada de retenção de água, situada entre o substrato e a camada filtrante. Esta camada é mais comum em coberturas do tipo intensivo, em que a vegetação utilizada necessita de maiores quantidades de água. Deve ser tido em conta que a retenção de água, numa cobertura ajardinada, aumenta significativamente a carga estrutural exercida por esta, no edifício.

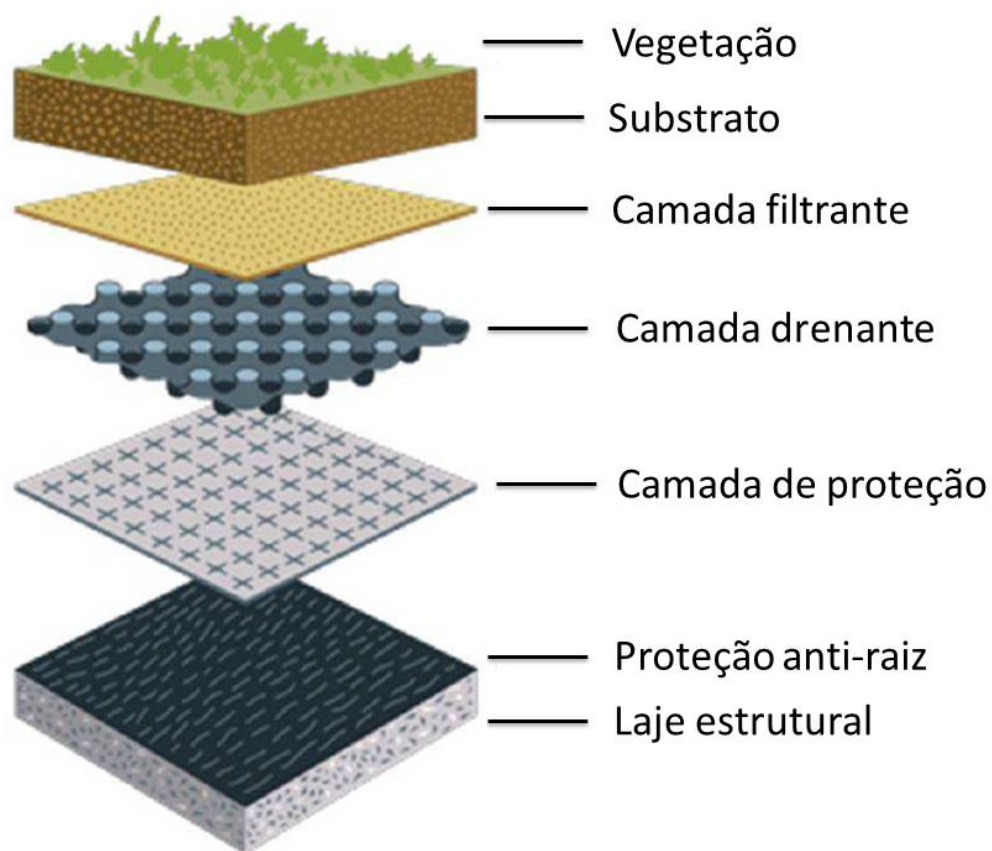


Fig. 46 – Componentes estruturais de uma Cobertura Ajardinada

Fonte: http://designmeans.com/work/illustration/green_roof.html (Adaptado)

3.3.1 - Vegetação

A vegetação é a componente que se encontra no topo da estrutura de uma cobertura ajardinada. A sua escolha deve ter em conta parâmetros como a tipologia da cobertura que se pretende instalar, o clima, o lado estético e a intenção do projeto (MACLVOR, 2011). O método de instalação da vegetação e a manutenção necessária de cada espécie também devem ser fatores a considerar. As necessidades de cada

espécie devem ser ponderadas sendo que a chuva e o vento forte, os níveis de irradiação e a temperatura podem determinar a sobrevivência ou o definhamento de determinadas espécies numa cobertura. Fatores locais, como o declive e a orientação da cobertura podem ter influência na intensidade da radiação solar recebida e na percentagem de humidade (GETTER., 2009).

Em coberturas ajardinadas do tipo extensivo a vegetação mais usual é aquela que apresenta um sistema radicular com menor expansão vertical, maior tolerância a seca e maior capacidade de armazenamento de água. A perenidade, ou seja, capacidade de autorregeneração deve ser tida em conta. As plantas suculentas do género *Sedum* são, pela sua resistência a períodos de seca e baixa manutenção exigida, as mais utilizadas (SNODGRASS, 2006). Gramíneas e musgos podem também ser utilizados em determinadas condições em coberturas deste tipo. A capacidade de sobrevivência dos *Sedum* deve-se à sua natureza simples, sendo chamadas de suculentas pela sua capacidade de armazenamento de água, principalmente nas folhas. O metabolismo destas plantas faz com que sejam resistentes a solos com baixa concentração de nutrientes, extremos de temperatura, ventos e escassez de água. São classificadas como plantas CAM, Crassulacean Acid Metabolism, abrindo os estomas durante o período noturno, quando captam o dióxido de carbono. Durante o dia apresentam os estomas fechados evitando perdas de água por evapotranspiração (FARRELL, *et al.*, 2012). Algumas espécies podem ser encontradas em Portugal, como são os casos das espécies das figuras 47 e 48.



Figs. 47 e 48 – *Sedum acre* e *Sedum album*, respetivamente, dois dos *Sedum* que podem ser encontrados em Portugal

Fontes: <http://www.sedumphotos.net>

Na tabela 4 é feita uma listagem das principais espécies de plantas encontradas numa cobertura ajardinada do tipo extensivo.

Tabela 4 – Listagem de espécies usuais em coberturas extensivas

Fonte: NTJ 11C (Adaptado)

Nome científico	Nome comum
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Alecrim
<i>Saxifraga granulata</i>	Mosquinos
<i>Sedum acre</i>	Erva-cão; Erva-de-cão-maior; Uva-de-cão; Vermiculária
<i>Sedum album</i>	Arroz-dos-telhados; Pinhões-de-rato
<i>Sedum anglicum</i>	Vermicularia-Inglesa
<i>Sedum arenarium</i>	
<i>Sedum floriferum</i>	
<i>Sedum forsterianum</i>	Arroz-das-paredes
<i>Sedum hirsutum</i>	Uva-de-gato
<i>Sedum hispanicum minus</i>	
<i>Sedum hybridum</i>	
<i>Sedum kamschaticum</i>	
<i>Sedum lydium</i>	
<i>Sedum middendorffianum</i>	
<i>Sedum nussbaumerianum</i>	
<i>Sedum oreganum</i>	
<i>Sedum pachyphyllum</i>	
<i>Sedum palmeri</i>	
<i>Sedum reflexum</i>	
<i>Sedum rubrotinctum</i>	
<i>Sedum sediforme</i>	Erva-pinheira; Erva-pinheira-enxuta
<i>Sedum sexangulare</i>	
<i>Sedum spathulifolium</i>	
<i>Sedum spurium</i>	
<i>Sedum ternatum</i>	
<i>Thymus vulgaris</i>	Tomilho

No caso das coberturas ajardinadas do tipo intensivo, como o substrato possui uma maior espessura, podem ser utilizados arbustos e árvores de pequeno e médio porte. Fatores como o clima e a especificidade da cobertura devem continuar a ser preponderantes na escolha da vegetação. As necessidades de manutenção da

vegetação são mais exigentes, sendo equiparadas com as necessárias nos jardins ao nível do solo.

Os métodos de plantação vão depender das características das espécies e da cobertura. Para coberturas do tipo extensivo, a instalação de tapetes pré cultivados, já utilizado em Portugal, tem a vantagem de a vegetação se adaptar mais facilmente à cobertura e visualmente ser mais apelativa numa fase inicial. Outras técnicas como a plantação individual de cada exemplar e a hidrosementeira necessitam de tempo para a adaptação e crescimento das espécies vegetais.

3.3.2 - Substrato

A função do substrato é permitir o crescimento natural da vegetação que nele está inserido. É no substrato que as plantas vão ter acesso aos nutrientes e à água, assim, o crescimento da vegetação vai ser influenciado diretamente pela espessura e pelas características do substrato escolhido. Existem várias variedades de substrato, que devem ser selecionadas consoante o tipo de vegetação proposto para a cobertura ajardinada (EMILSSON, 2008). A tabela 5 faz uma listagem dos principais fatores diferenciadores de um substrato.

Tabela 5 – Listagem de fatores diferenciadores de um substrato

Fonte: Heneine, 2008 (Adaptado)

Fatores a ter em conta na seleção de um substrato
▪ pH
▪ Teor de matéria orgânica
▪ Dimensão dos constituintes
▪ Estabilidade estrutural
▪ Retenção de água
▪ Permeabilidade à água
▪ Peso quando saturado
▪ Resistência ao clima
▪ Resistência ao vento
▪ Disponibilidade de nutrientes

O substrato era, nas coberturas ajardinadas mais antigas, um dos problemas que os projetistas tinham que enfrentar. Como é a camada de maior espessura nas coberturas ajardinadas, o seu peso influencia a carga que a cobertura ajardinada vai

exercer sobre a estrutura do edifício. Hoje em dia, têm sido feitas misturas de modo a diminuir ao máximo o peso do substrato, mantendo todas as funções necessárias ao adequado crescimento da vegetação. Substâncias mais leves como materiais reciclados, derivados de petróleo, produtos orgânicos, vegetais e minerais têm sido adicionados à mistura, diminuindo a carga que este exerce. Atualmente, é possível obter valores de 60 a 150 kg m⁻² de carga exercida pelo substrato numa cobertura extensiva e de 180 a 500 kg m⁻² numa cobertura ajardinada do tipo intensivo (PALHA, 2011).

A composição específica de cada substrato depende do fabricante, existindo, no entanto, uma composição geral que possui uma mistura de materiais orgânicos, como casca de pinheiro, terra vegetal ou turfa, com materiais minerais, como tijolo partido ou argila expandida. A espessura necessária de substrato vai depender, naturalmente, do tipo de vegetação projetada. Numa cobertura ajardinada extensiva, em que temos vegetação de pequenas dimensões, a espessura do substrato varia entre 0,06 e 0,2 m. No entanto, a espessura mínima aconselhada em Portugal é de 0,08 m, devido à nossa taxa de precipitação não ser regular durante todo o ano. Para coberturas ajardinadas intensivas, com vegetação de médio porte, os valores situam-se entre 0,15 e 0,40 m, existindo casos em que pode ser necessário recorrer a 1 m de espessura de substrato (PALHA, 2011).

3.3.3 - Camada filtrante

A camada filtrante de uma cobertura ajardinada situa-se entre o substrato e a camada drenante. É composta por uma manta geotêxtil, fabricada à base de fibras de poliésteres ou propileno. É importante garantir a neutralidade biológica e química destes materiais, de forma a evitar reações quando esta entra em contacto com o substrato. O objetivo da camada filtrante é garantir a estabilidade dos nutrientes e partículas finas no substrato, evitando que estas sejam arrastadas pela água e impedindo a colmatção da camada drenante. A manta geotêxtil deve apresentar uma elevada permeabilidade à água, permitindo a sua passagem para a camada drenante, e, também, alguma resistência a ações mecânicas (Zinco, 2014).

3.3.4 - Camada de drenagem

A camada de drenagem permite fazer o escoamento do excesso de água presente numa cobertura ajardinada. A estrutura drenante possui, concomitantemente, a função de reter alguma água que vai ser utilizada pelas plantas em períodos de maior seca. Assim, as coberturas ajardinadas apresentam, como já foi escrito, a vantagem de absorver a água da chuva e de permitir a sua libertação gradual ao longo do tempo, através dos fenómenos de escorrência, transpiração e evaporação. Quando o substrato atinge o ponto de saturação a água encaminha-se para a camada de drenagem onde é armazenada ou conduzida para o exterior da cobertura.

Como constituintes da camada de drenagem podem ser utilizados três diferentes tipos de materiais: materiais granulados, materiais porosos e materiais plásticos como poliestireno. Os materiais granulados, mais utilizados para efeitos de drenagem pois a sua capacidade de retenção é muito baixa, são argila expandida, brita, gravilha, tijolo partido e seixos. Já os materiais porosos, que apenas um número mínimo de projetistas opta pela sua utilização, são precisamente mais eficazes a reter a água do que a proporcionar o escoamento. São constituídos por materiais esponjosos como, por exemplo, tecidos e outros materiais absorventes reutilizados, capazes de absorver quantidades significativas de água e, por isso, fazendo aumentar a carga da estrutura quando saturados. Os materiais plásticos do tipo poliestireno, como se pode observar na figura 49, são atualmente os mais utilizados para a camada de drenagem das coberturas ajardinadas. Apresentam-se sobre diversas formas, permitindo uma adaptação ao clima e ao regime pluviométrico, para uma otimização dos processos de drenagem e de armazenamento de água. São de fácil colocação, têm um peso muito baixo e podem ser combinados com materiais granulados.



Fig. 49 – Sistema de drenagem para coberturas ajardinadas

Fonte: <http://www.scapetime.de/media/img/products/157/floradrain.jpg>

No entanto, numa camada de drenagem não são só os seus materiais constituintes que são importantes para um funcionamento eficaz, também o é a inclinação da cobertura (FISHBURN, 2004). A inclinação mínima aconselhável de uma cobertura ajardinada para ter uma drenagem eficiente é de 2%. Em inclinações inferiores é necessário recorrer a uma adaptação do sistema de drenagem para evitar acumulações de água e encharcamentos que possam danificar a vegetação. A colmatagem da camada de drenagem, para valores inferiores a 2% de inclinação, pode também ser frequente. Já como limite máximo de inclinação de uma cobertura ajardinada o valor é de 8%, existindo também adaptações do sistema de drenagem para inclinações superiores a esta. Nestes casos, é importante recorrer a um sistema de retenção para não deformar as camadas, inclusivamente a de drenagem. É importante garantir que, nestes casos, devido ao fenómeno de escorrência, as plantas que estão a uma altitude inferior não recebam mais água do que as que estão a um nível superior (FISHBURN, 2004).

A manutenção periódica do sistema de drenagem é crucial para verificar se não existem acumulações de água em locais onde não deveriam existir e que os canais se mantêm livres para a passagem eficaz de água.

3.3.5 - Camada de proteção

O objetivo da camada de proteção é, como o próprio nome indica, proteger a tela anti-raiz e a membrana de impermeabilização que, durante a fase de construção, ficam suscetíveis a ações mecânicas, como perfurações, que as poderão danificar. O material mais utilizado é o geotêxtil. No entanto, outros materiais como telas plásticas poderão ser aplicados.

3.3.6 - Proteção anti-raiz

A utilização de proteção anti-raiz apenas recentemente começou a ser adotada pelos projetistas na estrutura de uma cobertura ajardinada. O objetivo da utilização desta camada é evitar a perfuração da membrana impermeabilizante, e restante estrutura inferior do edifício, pelas raízes das plantas. Atualmente, já são utilizadas algumas membranas de impermeabilização que possuem proteção anti-raiz, no entanto, mesmo nessas situações, a colocação deste tipo de telas pode adicionar uma importante proteção extra e auxiliar na prevenção de infiltrações.

O nível de proteção anti-raiz pode ser mecânico, utilizando-se, entre outros, membranas de materiais como PVC (policloreto de vinila), HDPE (polietileno de alta densidade) e EPDM (monómero etileno-propileno-dieno) ou químico em que são usados folhas de cobre, fibras saturadas com sulfato de cobre ou herbicida. A utilização de herbicida para contenção das raízes está a ser posta em causa, sendo inclusive proibida em alguns países.

Nas coberturas ajardinadas do tipo intensivo a técnica de confinamento das raízes em caixas de betão, técnica também utilizada em passeios públicos, é aplicada em árvores com o objetivo de não permitir às raízes danificar as estruturas da cobertura.

3.3.7 - Membrana de impermeabilização

A correta colocação de uma membrana de impermeabilização é crucial para o funcionamento adequado de uma cobertura ajardinada. É esta camada que impede a passagem de água da cobertura para a estrutura do edifício, evitando as infiltrações. A sua aplicação deve ser cuidada e precisa de modo a impedir a ocorrência de falhas. Em caso de dano, a reparação pode implicar a remoção de partes da cobertura que se situem em cima da área afetada, o que pode ser bastante dispendioso em termos de custos e tempo. Devido a estas dificuldades de reparação os projetistas optam por reforçar a espessura da camada de impermeabilização ou, noutros casos, reforçar com o aumento do número de camadas impermeáveis.

A impermeabilização dos edifícios pode ser dividida em duas formas distintas, que variam no tipo de materiais e nas diferenças de aplicação. São elas: impermeabilização tradicional e impermeabilização não tradicional. Os diferentes materiais podem ser identificados na figura 50. Os materiais constituintes da membrana de impermeabilização devem ter características hidrostáticas, conseguindo suportar durante longos períodos de tempo a pressão da água sobre a membrana.

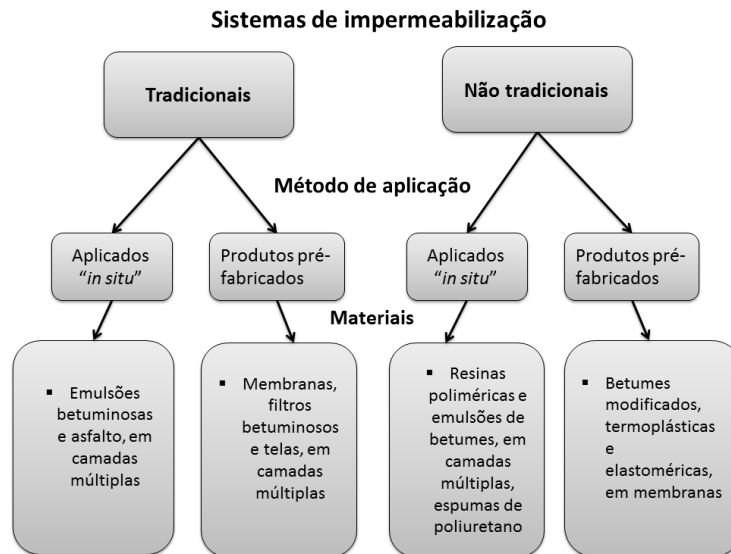


Fig. 50 – Diferença dos sistemas de impermeabilização

Fonte: Autor

Fonte de informação: Grácio, 2006

É importante fazer uma verificação posterior à aplicação da membrana de impermeabilização para conferir a eficácia da mesma. É recomendado fazer um teste com a libertação de água em que esta deve ficar algum tempo sobre a cobertura de forma a verificar que não há falhas. Atualmente, com recurso a computação e software específico consegue-se detetar eventuais lacunas.

3.3.8 - Laje estrutural

A laje estrutural tem a função de suporte de toda a estrutura de uma cobertura ajardinada. É formada por lajes de betão armado para permitir sustentar a carga exercida pela estrutura. Desta forma, a carga que uma cobertura ajardinada exerce sobre um edifício deve ser identificada e o edifício deve ser projetado de forma a ter a resistência necessária para a receber. No caso de o edifício já estar construído, um engenheiro de estruturas deve analisar a capacidade de resistência da estrutura e averiguar se existem condições para a estrutura receber a implementação de uma cobertura ajardinada. É importante garantir que não existam erros de cálculo, a fim de evitar qualquer falha, uma vez que numa situação extrema pode ocorrer colapso, colocando vidas em risco. A estrutura de uma cobertura ajardinada, com o substrato saturado, não deverá ser superior a 100 kg m^{-2} (Minke, 2003). Devem ser consideradas neste caso as cargas permanentes, peso da estrutura da cobertura ajardinada, e as cargas acidentais, onde é contabilizado o depósito de materiais

durante a construção, as cargas das atividades exercidas sobre a cobertura, assim como a circulação de pessoas e equipamentos.

3.3.9 - Coberturas Ajardinadas Modulares

No caso das coberturas ajardinadas modulares, a cobertura do edifício não necessita de todas as estruturas focadas anteriormente, uma vez que os módulos onde se encontra a vegetação já possuem as camadas necessárias ao crescimento adequado das plantas. A vegetação, o substrato, a camada filtrante e o sistema de drenagem estão contidos nos tabuleiros que são aplicados diretamente sobre a cobertura do edifício. Os módulos onde se encontra a vegetação são tabuleiros com dimensões preestabelecidas, havendo no mercado várias soluções e alternativas como “sacos”, biodegradáveis ou não, com o substrato que possuem aberturas por onde crescem as plantas, que substituem os tradicionais tabuleiros. Dois exemplos deste sistema podem ser observados nas figuras 51 e 52.



Figs. 51 e 52 – Cobertura ajardinada modular de tabuleiro e saco não biodegradável, respetivamente

Fontes: <http://ravenind.com/wp/wp-content/uploads/2014/04/LiveRoofFullyGrownModules.jpg> e

<http://cdn.archinect.net/images/1200x/xr/xrduypo3294v4bma.jpg>

Este sistema possui como vantagem a simplicidade de montagem da estrutura dos tabuleiros, a facilidade do método de encaixe dos tabuleiros uns nos outros (figura 53) e menores custos de instalação em relação às coberturas ajardinadas tradicionais. Em caso de alguma falha, a reparação é facilitada pela possibilidade de retirar do encaixe os módulos afetados, para se proceder ao conserto. Como o sistema é pré-fabricado não é necessário esperar pelo crescimento da vegetação, já que os módulos podem ser cultivados antes de serem instalados. No final da fase de instalação a cobertura, visualmente, poderá ter um aspeto semelhante ao que é esperado como resultado “final”. Se os módulos forem pré-cultivados, em regime controlado, podem ser instalados em qualquer altura do ano, ao contrário das coberturas ajardinadas

contínuas que, procurando as condições ideais de crescimento da vegetação, devem ser cultivados apenas na primavera ou no outono.



Fig. 53 – Exemplo de uma cobertura ajardinada modular de encaixe na Pennsylvania, Estados Unidos da América

Fonte: http://www.greenroofs.com/projects/pa_dep/pa_dep1.jpg

Como desvantagem, podemos considerar tratar-se de um sistema mais limitado em termos de escolha de espécies de plantas. O formato do módulo, que normalmente é quadrado ou retangular, pode ser problemática para resolver encaixes em ângulos diferentes de 90° ou situações de cantos arredondados. Como não é ainda uma solução muito usual pode haver erros de instalação, como por exemplo os módulos não encaixarem corretamente uns nos outros, o que pode provocar falhas na eficiência energética do edifício, que era esperada obter com uma cobertura ajardinada.

3.4 - Ecologia dos materiais de construção

A ecologia dos materiais de construção é um tema que se torna fundamental conhecer para uma correta seleção dos materiais constituintes das camadas de uma cobertura ajardinada, que procura ir ao encontro do que é uma construção sustentável. Assim, torna-se importante o projetista tentar compreender, para o caso das coberturas com vegetação, o ciclo de vida dos materiais de construção e o seu impacto ambiental a curto, médio e longo prazo.

A análise e ponderação dos materiais são essenciais numa primeira fase de decisão. O conhecimento sobre as matérias-primas, que vão dar origem aos materiais

usados nas coberturas, é importante. Questões como a origem da matéria-prima, como é extraída, se é reciclada ou original ou se é um recurso renovável podem, em caso de dúvidas, ser questões pertinentes a colocar aos produtores e fornecedores. O processo produtivo, transformação da matéria-prima no produto final, também deve ser analisado. O fornecedor pode ser inquirido sobre os gastos energéticos, e gastos de água, durante a fase de produção. Importa também conhecer se durante o processo de fabrico se gera algum tipo de poluição ou resíduos. Em caso de gerar, deve saber-se de que forma o fabricante faz a gestão dos resíduos produzidos e como tenta combater a poluição criada.

Já o produto final, que é o estado em que o material chega à obra para ser instalado, deve ser considerado se durante a aplicação e, mais tarde, na manutenção, serão gerados resíduos ou poluição. As embalagens onde o produto chega devem ser o mais ecológicas possíveis e devem poder ser encaminhadas, na fase final, para reciclagem. Questões de como é feita a logística de distribuição do material também são importantes, pois são atividades potencialmente poluidoras. Assim, é importante na procura dos fornecedores que as entidades sejam certificadas ambientalmente com as normas ISO 14001 e EMAS.

Vários estudos têm sido feitos a nível internacional de forma a capacitar a construção de coberturas ajardinadas com materiais mais ecológicos. Uma das questões que se coloca é quanto de ecológico conseguem ter estas coberturas já que, a matéria-prima utilizada no fabrico de diversos componentes da estrutura de uma cobertura ajardinada tem por base a polimerização de plásticos, em processos industriais poluentes (BIANCHINI, 2012).

Em Portugal, um dos materiais em destaque é a cortiça, que pode ser retirada de *Quercus suber*, sobreiro de nome comum, com um espaçamento de nove anos entre recolhas. Como líderes mundiais de produção de cortiça, surge naturalmente, no nosso país, este material como uma das potencialidades que deve ser explorada a curto prazo. A adoção de aglomerado de cortiça expandida no isolamento térmico exterior das coberturas ajardinadas, como pode ser visto na figura 54, deve ser considerado pois trata-se de um produto com uma matéria-prima natural e renovável. Na sua produção são apenas utilizados grânulos de cortiça que, quando sujeitos a um processo térmico, libertam uma resina, a suberina, que funciona como um aglutinante natural. É um produto de grande durabilidade, resistente a temperaturas elevadas e a ações mecânicas, que pode ser reciclado e é um bom isolante acústico e térmico.



Fig. 54 – Aglomerado de cortiça expandida na estrutura de uma cobertura ajardinada, Effisus Ecork

Fonte: <http://www.upwaysystems.com>

Economicamente é uma aposta vantajosa para Portugal. Favorece o montado de sobreiro do nosso território, um rico ponto de biodiversidade. Esta que é a maior floresta de sobreiro a nível mundial com aproximadamente 725 000 ha, para além dos postos de trabalho que são criados com a recolha da cortiça e produção dos aglomerados.

4 - Situação Atual do Edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta

4.1 - Introdução

Neste capítulo vai ser alvo de análise a situação atual do edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta da Gruta, no concelho da Maia. Este edifício tinha sido classificado, pela Divisão do Ambiente, do Departamento de Ambiente, Planeamento e Gestão Urbana (DAPGU) da Câmara Municipal da Maia, como um edifício prioritário a ser intervencionado, uma vez que, devido às temperaturas interiores, não proporciona conforto e bem-estar aos seus utilizadores, maioritariamente jovens.

Desta forma, começou por se fazer uma caracterização geral da escola de educação ambiental e da sua envolvente, passando-se, mais tarde, para o terreno onde se fez um diagnóstico do estado atual do edifício e identificaram-se problemas que pudessem estar a comprometer o conforto térmico no seu interior. Foi, ainda, instalada uma estação meteorológica que permitiu obter dados sobre o comportamento térmico do edifício. Parâmetros como a temperatura e humidade, interiores e exteriores, foram analisados e serão apresentados neste capítulo. Uma câmara fotográfica de captação de imagens térmicas foi, também, utilizada, tanto no interior, como no exterior do edifício. Foi, ainda, analisada a eventual influência da orientação solar no comportamento térmico do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta.

Numa fase posterior, foi analisada a situação atual do edifício para encontrar soluções que fossem ao encontro dos problemas identificados. A instalação de uma cobertura ajardinada foi, assim, uma das estratégias delineadas para diminuir o desconforto térmico sentido no interior do edifício da escola de educação ambiental.

4.2 - Localização

O edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta fica situado no Complexo de Educação Ambiental, na freguesia do Castelo da Maia, pertencente ao município da Maia e ao distrito do Porto. A sua localização GPS pode ser encontrada através das coordenadas 41° 15'52,15759"N e 8° 36'41,12114"W. O edifício foi

construído segundo a orientação Norte-Sul, como pode ser visualizado na figura 55, recebendo o sol, na lateral virada a este, quando nasce e, consequentemente, o sol poente na lateral virada a oeste.

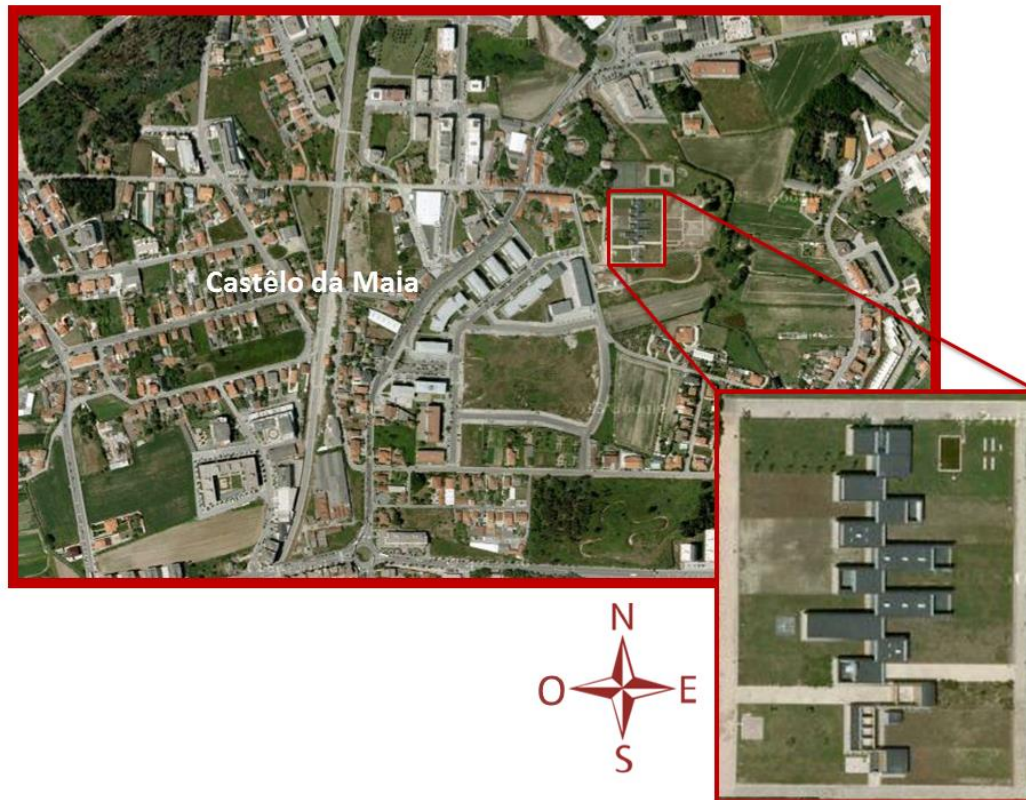


Fig. 55 – Localização da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta
Fonte: Google Maps (2014)

4.3 - Enquadramento Geral

O Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta, no qual se insere o edifício em estudo, pertence à Camara Municipal da Maia. Inicialmente adquirido pela autarquia para a instalação de uma escola, o espaço compreende uma área total de 2,5 hectares e recebe anualmente cerca de 5000 visitantes, sendo maioritariamente alunos de escolas do concelho. O complexo é formado por dois edifícios distintos: um palacete, construído no início do século XX, e a escola de educação ambiental, em funcionamento desde o ano de 2007. O palacete, reconvertido pelo arquiteto João Álvaro Rocha em 2001, é o espaço onde se situam os serviços administrativos. A escola de educação ambiental da Quinta da Gruta, inaugurada em 2007, foi, igualmente, obra do arquiteto João Álvaro Rocha. Tem uma dimensão de 750 m² e apresenta dois laboratórios, uma cozinha, uma biblioteca, um anfiteatro e um gabinete.

O gabinete é ocupado atualmente pela Quercus, sendo a Quinta da Gruta o núcleo regional da organização ambiental no distrito do Porto. Existem, também, boxes para animais e hortas biológicas que permitem a interação dos visitantes com as tradições mais rurais. Na escola de educação ambiental são desenvolvidas diversas atividades pelos visitantes, sendo um dos locais chave, no município da Maia, na educação ambiental para a sustentabilidade. Anualmente, é delineado pela autarquia um plano de educação ambiental, assente nas diversas atividades realizadas na escola, focado na conservação e valorização do meio ambiente e da natureza.

No sítio da internet da Quinta da Gruta (www.quintadagruta.cm-maia.pt), podem ser encontrados os objetivos gerais do Complexo de Educação Ambiental, passando a citar:

- Sensibilizar os visitantes para as problemáticas ambientais, com particular destaque para os resíduos, água, energia, conservação da natureza e património cultural;
- Promover atividades na natureza, que mobilizem a participação da população em geral e da unidade familiar em particular;
- Servir como centro demonstrativo e multiplicador, ministrando atividades teóricas e práticas no local;
- Desenvolver ações que assentem em conteúdos teóricos e práticos e que sejam desenvolvidos com recurso a elementos de Educação Formal e Não Formal;
- Servir como centro de informação disponibilizando biblioteca, videoteca, projeções;
- Produzir material didático de experiências documentadas, para ser posteriormente distribuído para entidades de ensino, associações e grupos interessados;
- Promover cooperações e parcerias com entidades acreditadas e com experiência comprovada;
- Organizar eventos, encontros de especialistas na área da EA e EDS, promovendo a consolidação e ampliação das mesmas;
- Atingir o mais largo leque de visitantes, quer em escalões etários, quer ainda ao nível da formação;
- Desenvolver projetos tecnológicos interdisciplinares, integradores de práticas e de recursos científicos;

- Desenvolver parcerias com Universidades ou Cooperativas de Ensino, por forma a desenvolver estudos superiores na área da Educação Ambiental;
- Promover estudos, trabalhos e projetos na área do Ambiente.

O complexo da Quinta da Gruta conta ainda com dois campos de ténis e piscinas públicas municipais.

4.4 - Levantamento

Com o objetivo de conhecer mais pormenorizadamente o edifício e executar um levantamento geral dos problemas existentes, fez-se uma primeira visita ao Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta, em Outubro de 2013. Esta visita à escola de educação ambiental permitiu conhecer o edifício exteriormente, recolher informação sobre o interior do edifício e analisar o estado de conservação da sua cobertura. A figura 56, fotografia tirada à fachada poente, permite ter uma ideia geral do exterior do edifício da escola de educação ambiental.



Fig. 56 – Fotografia de parte da fachada poente da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta
Fonte: Autor

As fachadas exteriores do edifício são constituídas por paredes, com granito na parte exterior, voltadas a norte e a sul. Já as fachadas do lado este e oeste, para além de paredes com o granito exterior, algumas delas separando pequenos terraços interiores, possuem vãos envidraçados que dão para o corredor e para as várias salas

figura 58. Um dos vãos envidraçados laterais, danificado pela entrada de água, pode ser localizado no ponto 2 e a hotte de um dos laboratórios, que apresentava sinais de oxidação do metal, devido a infiltração de água no local, pode ser identificada no ponto 4, da figura 58.

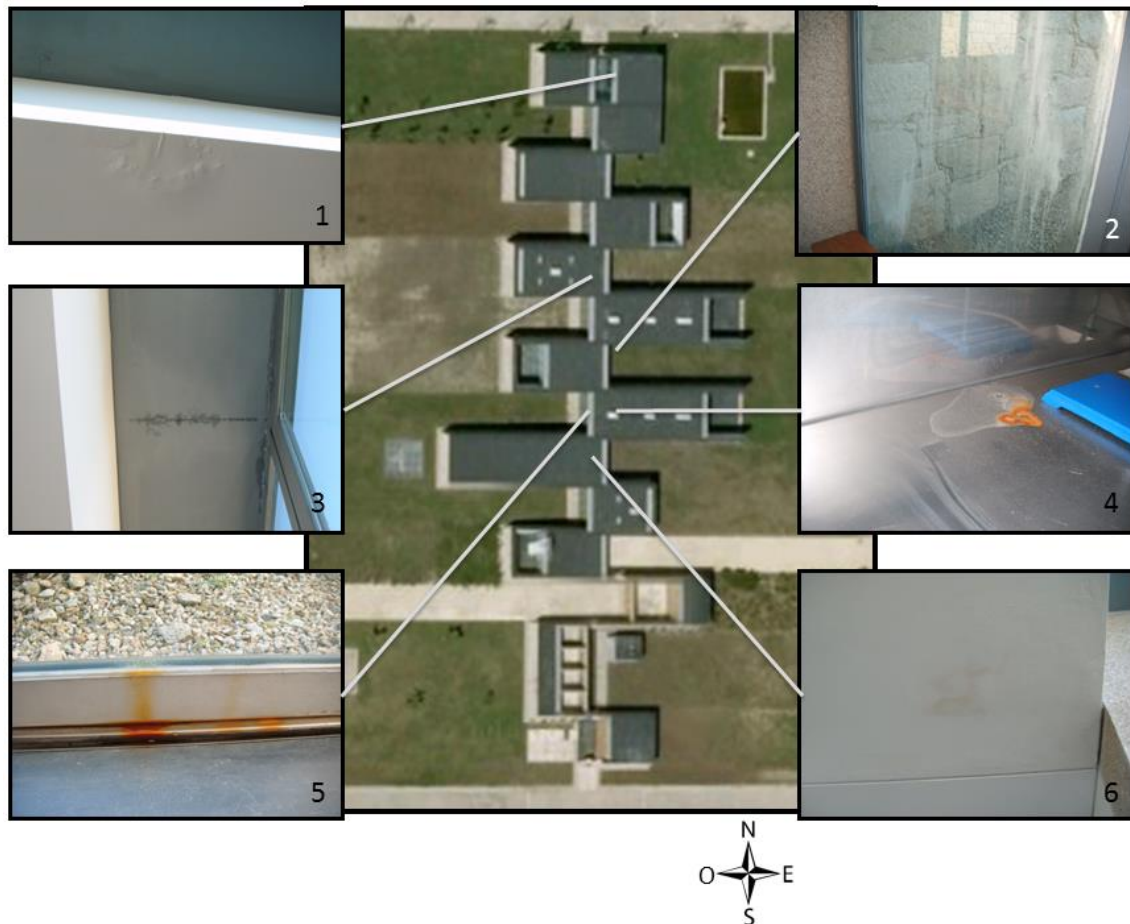


Fig. 58 – Identificação de infiltrações de água, no edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta
Fonte: Autor

Após a visita ao interior do edifício, procedeu-se ao reconhecimento do estado de conservação da cobertura. A cobertura da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta é composta por lajes negras de ardósia, em peças com 0,57 m de largura, 1,35 m de comprimento e 0,015 m de espessura. Como isolante foi utilizado na estrutura da cobertura placas rígidas espuma de poliestireno extrudido com 0,06 m de espessura. As lajes estão assentes em blocos de cimento nos extremos e no meio. (Figura 59)



Fig. 59 – Pormenor da cobertura do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta

Fonte: Autor

A subida até à cobertura é feita através de uma escada manual, não existindo um acesso através do edifício. No topo, foi possível identificar várias lajes negras de ardósia partidas, fazendo com que a camada de ar existente, entre as lajes e a impermeabilização da cobertura, de 8 cm, não tenha o efeito esperado de isolamento. Na figura 60 é apresentada a planta do edifício da escola, acompanhada com algumas fotografias do registo fotográfico da visita à cobertura. O ponto 1 da figura, representa o local onde foi efetuado o registo fotográfico uma vez que, devido às características em que as lajes de ardósia estão assentes, a deslocação em cima da cobertura não é aconselhável.

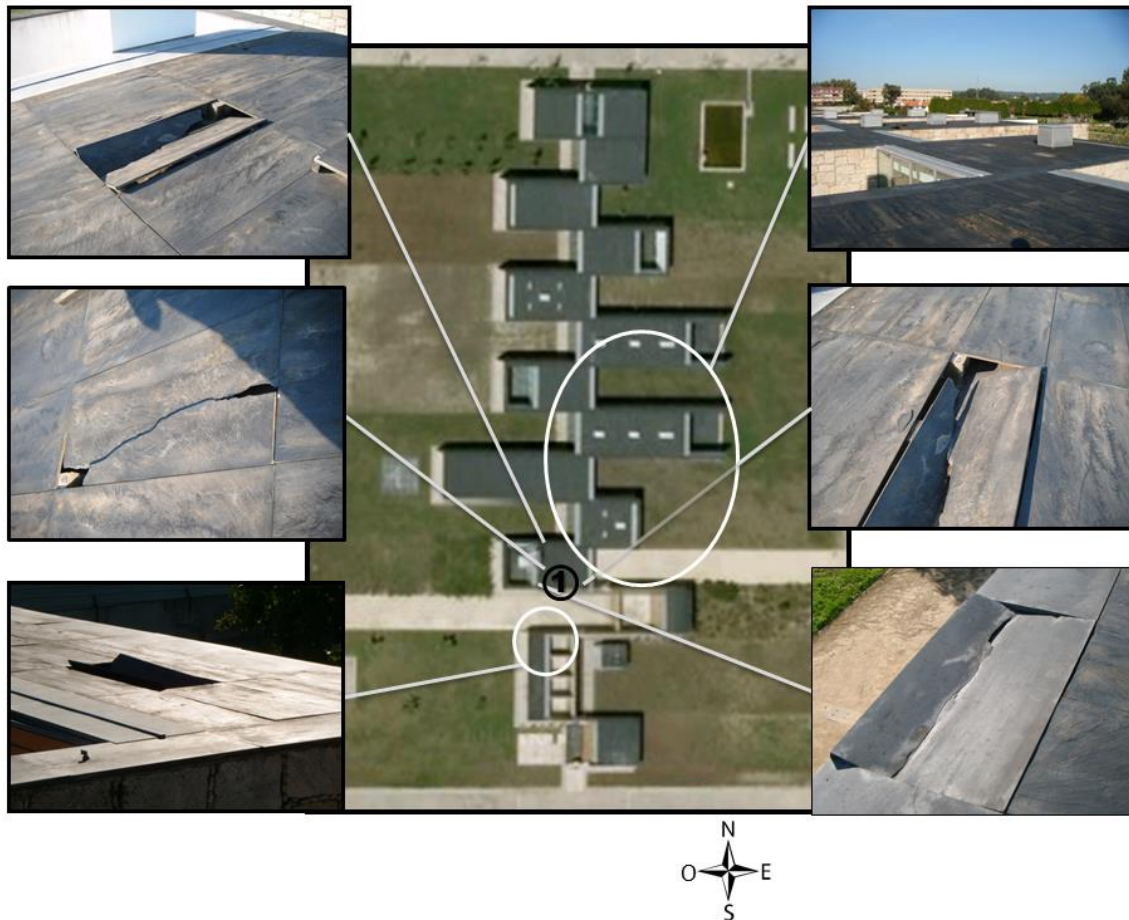


Fig. 60 – Identificação de lajes negras de ardósia danificadas, na cobertura do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta

Fonte: Autor

O aquecimento da escola de educação ambiental é feito através de um sistema de piso radiante, abrangendo uma grande área no interior do edifício, utilizando como combustível o gás natural. É necessário ativar o sistema de piso radiante com uma antecedência de cerca de 24 horas, para se atingir o conforto térmico aceitável nos rigorosos dias de inverno. Por se tratar de um método de aquecimento dispendioso para o Complexo de Educação Ambiental, este é ativado um número mínimo de vezes durante o ano. Para os dias de maior calor, o edifício não possui qualquer sistema de arrefecimento. Existe, no auditório, um sistema de ventilação que permite a renovação de ar interior uma vez que a sala não possui qualquer janela para o exterior.

4.5 - Orientação solar

A orientação solar de um edifício é um dos pressupostos fundamentais a ser estudado quando analisamos questões como o conforto térmico. Um edifício mal orientado não só é mais frio no inverno, como se torna mais quente no verão. Os ganhos solares passivos, de elevada importância em Portugal por ser um dos países da Europa com maiores índices de radiação solar, assumem-se como uma alternativa ecológica aos sistemas de aquecimento e arrefecimento de ar, pouco eficientes energeticamente.

O edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta apresenta uma orientação norte-sul, como pode ser visto na figura 61. Isto significa que as salas situadas no lado este recebem, pela manhã, o sol e as do lado oeste recebem o sol poente, ao final do dia.



Fig. 61 – Orientação do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta

Fonte: Autor

A orientação norte-sul existente vai influenciar os ganhos solares do edifício, nas diferentes estações do ano. Esta orientação da escola pode revelar-se problemática, devido aos materiais escolhidos para as fachadas, pois não maximizam o aproveitamento da energia solar. Isto acontece, porque nos meses de inverno, em que a altura do sol para a latitude da região do grande Porto não ultrapassa os 30° , a radiação máxima solar dá-se para as fachadas voltadas a sul. No caso do edifício da escola de educação ambiental, esta apresenta uma fachada em parede de granito que

não consegue captar a energia suficiente para aquecer o edifício nestes meses de baixas temperaturas e menor radiação solar. Nos meses de verão, em que a altura do sol atinge um valor próximo de 70° , a incidência solar apresenta-se forte durante todo o dia, possuindo a escola duas grandes fachadas este e oeste, vidradas, expostas diretamente à radiação, e sem sombreamento, aquecendo o edifício em demasia. Na figura 62 é possível visualizar um diagrama solar, que apresenta a altura média do sol, em graus, representando a linha do movimento aparente do sol no céu, em cada mês do ano, para a latitude de 41° , a mais próxima do grande Porto.

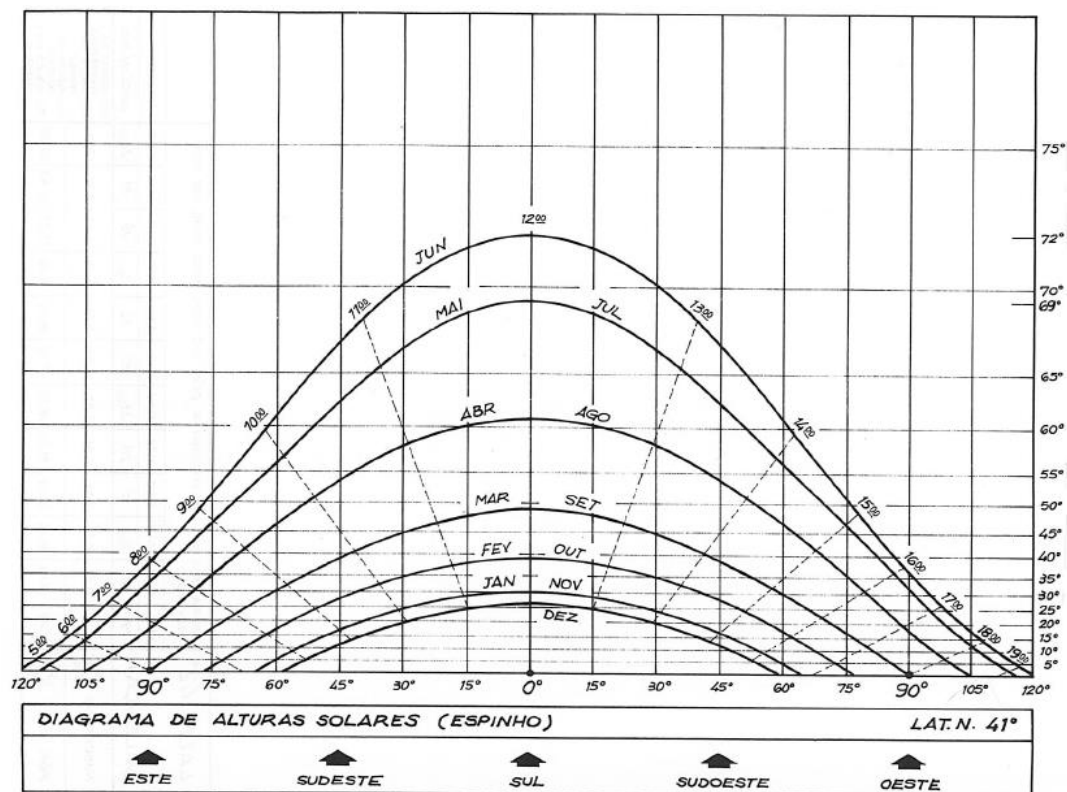


Fig. 62 – Diagrama solar, representando a altura do sol para a latitude de 41°

Fontes: Moita, 2010, p.101

Na figura 63 é possível visualizar uma das paredes de granito voltadas a sul, enquanto na figura 64 podemos observar os vidros que estão presentes nas fachadas este e oeste, do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta.



Figs. 63 e 64 – Parede da fachada voltada a sul e vidro da fachada voltada a este, respetivamente
Fontes: Autor

4.6 - Medições

Com o objetivo de aprofundar os conhecimentos térmicos sobre o edifício e a sua envolvente, foram realizadas medições, recorrendo a uma estação meteorológica e a uma câmara fotográfica de captação de imagens térmicas. Estas medições permitiram obter uma caracterização mais precisa sobre as condições climáticas onde se insere o Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta e, mais particularmente, perceber os balanços térmicos existentes no edifício da escola de educação ambiental. As medições permitiram monitorizar parâmetros como a temperatura, a humidade e o vento. Assim, os instrumentos de medida utilizados no edifício foram:

- Estação meteorológica – permitiu recolher dados da temperatura (interior e exterior), humidade (interior e exterior) e vento;
- Câmara termográfica de infravermelhos – forneceu informações sobre a temperatura superficial das estruturas, no interior e exterior.

Para a monitorização dos parâmetros indicados, foi utilizada uma estação meteorológica, modelo Watson W-8681, que é composta por dois elementos que permitem fazer medições simultâneas no interior e no exterior de um edifício. A precisão da estação meteorológica é de cerca de 1º C para a temperatura, 5 % para a humidade e 1 m/s para o vento. A figura 65 mostra a estação meteorológica utilizada na cobertura da escola de educação ambiental, que permitiu obter os dados da temperatura exterior, humidade exterior e vento. Na figura 66 é possível observar o monitor que ficou situado no interior do edifício e que permitiu registar a temperatura e

humidade interiores, assim como receber os dados da estação exterior. A comunicação da estação meteorológica emissora com a recetora é feita através de ondas rádio e tem um alcance de 100 m.



Figs. 65 e 66 – Estação meteorológica modelo Watson W-8681, localização exterior e interior, respetivamente

Fontes: Autor

No estudo exploratório efetuado foram tidos em consideração os valores de temperatura e humidade interiores, em comparação, com os valores de temperatura e humidade exteriores. Esta comparação entre os valores interiores e exteriores permitiu perceber de que forma a temperatura exterior influenciou a temperatura interior, ou seja, permitiu avaliar a eficácia do isolamento, partindo do princípio que os valores não foram afetados por fontes de calor ou humidade interiores, significativas.

Na figura 67 é possível observar a planta do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta, com a indicação do local onde ficou situada a estação meteorológica exterior e os seis locais onde, rotativamente, se localizou o monitor interior.

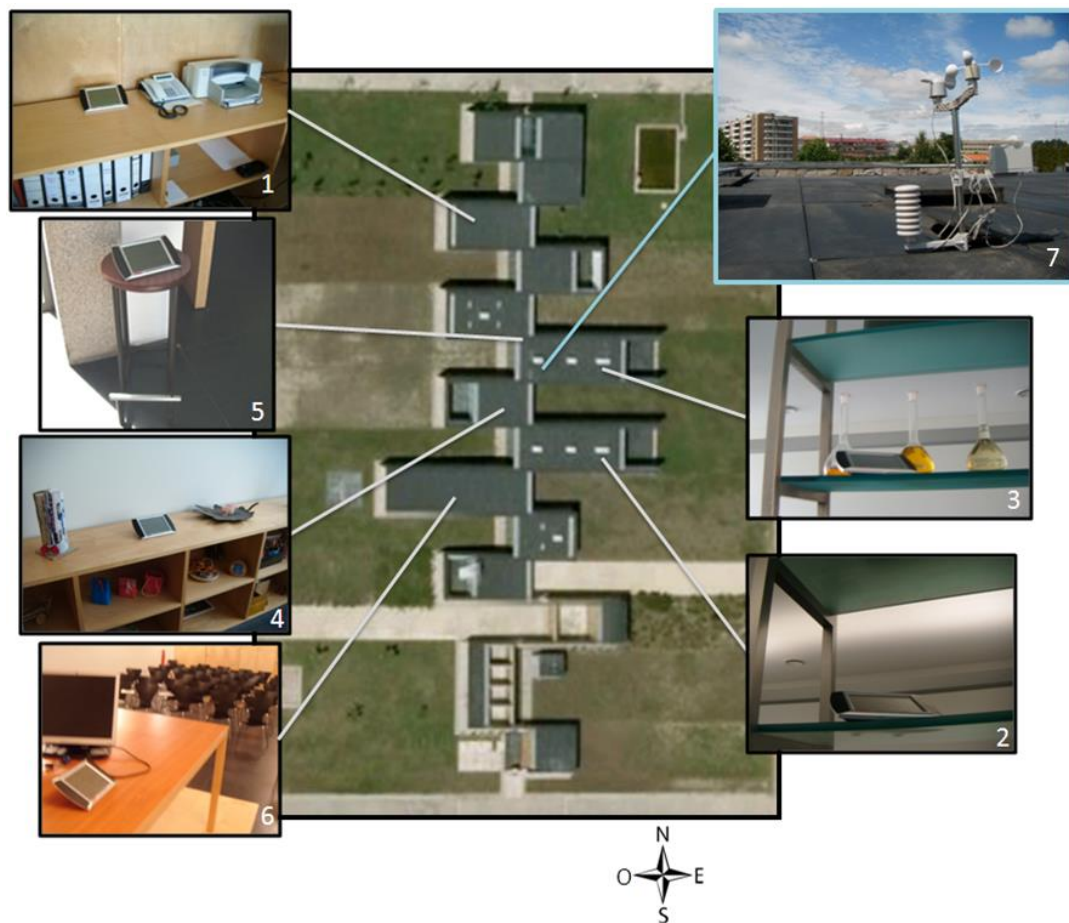


Fig. 67 – Localização da estação meteorológica exterior e interior no edifício da escola de educação ambiental. 67-1) Secretária da entrada norte; 67-2) Laboratório sul; 67-3) Laboratório norte; 67-4) Biblioteca; 67-5) Corredor central; 67-6) Auditório; 67-7) Localização exterior.

Fonte: Autor

Para a monitorização dos dados foram, então, identificados seis locais como interessantes para recolha dos parâmetros de temperatura e humidade interiores. Pretendia-se obter um panorama geral do edifício, dando, no entanto, maior destaque aos locais mais frequentados pelos utilizadores. Assim, nos locais 2, 3, 4 e 6 as medições foram efetuadas, no interior de algumas das salas da escola. Os locais identificados por 2 e 3 correspondem aos laboratórios, o local 4 à biblioteca e o local 6 ao auditório. Os locais identificados pelos números 1 e 5 estão localizados no grande corredor, que une as salas do edifício, sendo o local 1 a secretária junto à entrada norte da escola, e o local 5 situado a meio do corredor. O sensor ficou em cada local de medição sete dias, tendo recolhido os dados, em cada local, em três alturas distintas, o que fez um total de 127 dias de medições. O sensor foi definido para memorizar os dados recolhidos de hora em hora, totalizando 3039 registos.

Para a colocação da estação meteorológica exterior foi encontrado, como o local ideal, a cobertura de um dos laboratórios, a meio do edifício. A sua localização

teve que ser pensada de forma a permitir a permanente comunicação com o monitor que recebia os dados e que se encontrava em rotação em vários locais, no interior do edifício. Como a cobertura do edifício da escola não possui qualquer antena onde se pudesse prender a estação meteorológica, aproveitou-se uma aresta partida de uma das placas de ardósia para colocar a estação de forma a ficar estável. Sendo um local de pouca segurança, principalmente em períodos noturnos, assegurou-se que a estação ficasse pouco visível, de forma a evitar possíveis furtos.

A tabela 6 possui a calendarização das medições por local, sendo que cada número corresponde à localização apresentada pela figura 66. A escolha da ordem de monitorização foi delineada tendo em conta o plano de atividades do edifício que se encontrou sempre em funcionamento durante as medições dos parâmetros pretendidos.

Tabela 6 – Calendarização das medições de temperatura e humidade interiores

Fonte: Autor

Local	Data inicial	Data final
1	8 de janeiro	15 de janeiro
2	15 de janeiro	22 de janeiro
3	22 de janeiro	29 de janeiro
4	29 de janeiro	5 de fevereiro
5	5 de fevereiro	12 de fevereiro
6	12 de fevereiro	19 de fevereiro
1	19 de fevereiro	26 de fevereiro
2	26 de fevereiro	5 de março
3	5 de março	12 de março
4	12 de março	19 de março
5	19 de março	26 de março
6	26 de março	2 de abril
1	2 de abril	9 de abril
2	9 de abril	16 de abril
3	16 de abril	23 de abril
4	23 de abril	30 de abril
5	30 de abril	7 de maio
6	7 de maio	14 de maio

As medições tiveram início no dia 8 de janeiro de 2014 e finalizaram no dia 14 de maio, do mesmo ano. Os dias de transição entre os diferentes locais não foram considerados nas medições finais da temperatura e humidade interiores, de forma a permitir uma adaptação do aparelho recetor às condições do novo local.

Durante a monitorização foi pedido, aos funcionários do edifício da escola de educação ambiental, que seguissem algumas normas com o objetivo de garantir a qualidade dos dados recolhidos. De forma a garantir essa qualidade foi dito que:

- o aparelho recetor não deveria ser descolado do local onde se encontrava a efetuar as medições;
- caso fosse feita alguma ação que fizesse variar a temperatura do local onde estava a ser efetuado o registo, deveria ser registada a ação que teria levado à alteração;
- no caso de o recetor estar a efetuar os registos no interior dos laboratórios, da biblioteca ou do auditório, se a porta que separa o compartimento do corredor, ou do exterior, ficasse aberta durante um longo período pedia-se que, também, fosse efetuado o registo desses eventos.

Para o efeito, foram disponibilizadas duas folhas de registo, não tendo sido nenhuma delas utilizada pelos funcionários.

A totalidade dos dados registados da temperatura interior e exterior pode ser consultada nos anexos presentes no final do relatório de estágio.

4.6.1 – Temperatura

A temperatura é um dos fatores que mais contribui para as transferências de calor entre um edifício e o exterior. A temperatura interna pode aumentar ou diminuir consoante o sentido dos fluxos de calor. Quando o fluxo de calor se dá do exterior para o interior, o edifício apresenta ganhos térmicos e ocorre uma subida da temperatura interior. Quando, pelo contrário, o fluxo de calor ocorre do interior para o exterior, causado pelas temperaturas exteriores mais baixas, o edifício apresenta perdas térmicas, provocando uma diminuição da temperatura. Nos edifícios, as características dos materiais invólucros vão influenciar a resistência térmica deste e determinar a eficiência das transferências de calor entre os edifícios e o meio exterior (GONÇALVES e GRAÇA, 2004).

4.6.1.1 - Estação meteorológica

4.6.1.1.1 - Temperatura Exterior

A estação meteorológica esteve na cobertura do edifício da escola de educação ambiental, como pode ser observado na figura 67-7), cerca de 127 dias, abrangendo uma parte do inverno e uma parte da primavera do ano de 2014. O período de monitorização teve início às 9:30 horas do dia 8 de janeiro de 2014 e finalizou às 23:30 horas do dia 14 de maio de 2014. A figura 68 mostra a evolução das temperaturas exteriores durante a fase de monitorização, indicando a temperatura mínima, a temperatura máxima e a temperatura média para esse período.

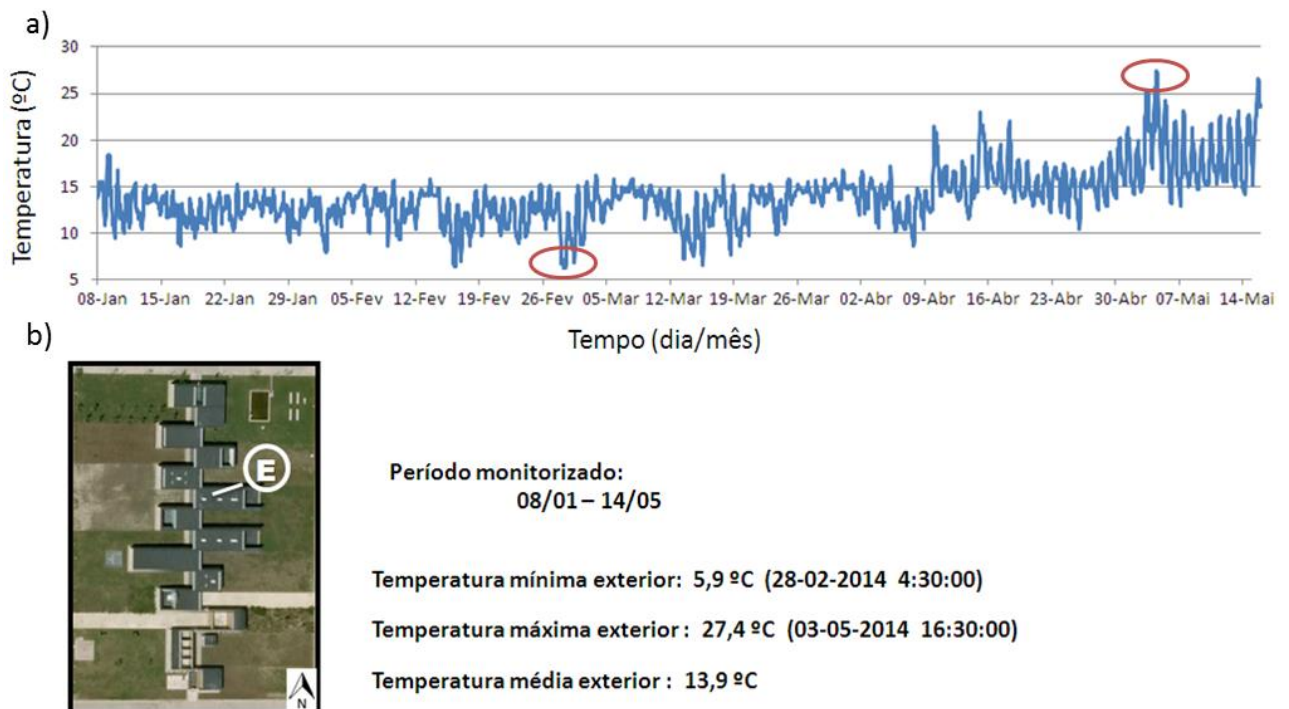


Fig. 68 – Temperaturas exteriores registadas no Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta. 68-a) Gráfico da evolução da temperatura exterior; 68-b) Localização e temperaturas mínima, média e máxima para o período.

Fonte: Autor

Os meses de janeiro, fevereiro e início de março foram os períodos de menores temperaturas registadas. Durante estes meses apenas pontualmente as temperaturas subiram acima dos 15 ° C e houve registo de algumas noites frias, com temperaturas a alcançarem os 6° C. As noites frias de inverno, embora não tenham sido registadas temperaturas abaixo dos 5° C, podem ser propícias ao aparecimento de geadas. Com o mês de março, já na primavera, as temperaturas, tanto diurnas como noturnas,

aumentaram. O mês de maio apresentou dias com elevada amplitude térmica, com dias quentes e noites com temperaturas amenas. As temperaturas registadas durante o período monitorizado foram, assim, as habituais para a época do ano. Os dois círculos vermelhos do gráfico assinalam os extremos de temperatura, a mínima e a máxima, respetivamente.

4.6.1.1.2 - Temperatura Interior – Local 1

O local 1 do registo de temperatura ocorreu na secretária junto à entrada norte da escola, como pode ser conferido na figura 67-1). Para a monitorização dos dados observáveis no gráfico, na figura 69-a), foram tidos em consideração os dados recolhidos em três diferentes alturas do ano, comparando a temperatura interior com a temperatura exterior registada nesse período.

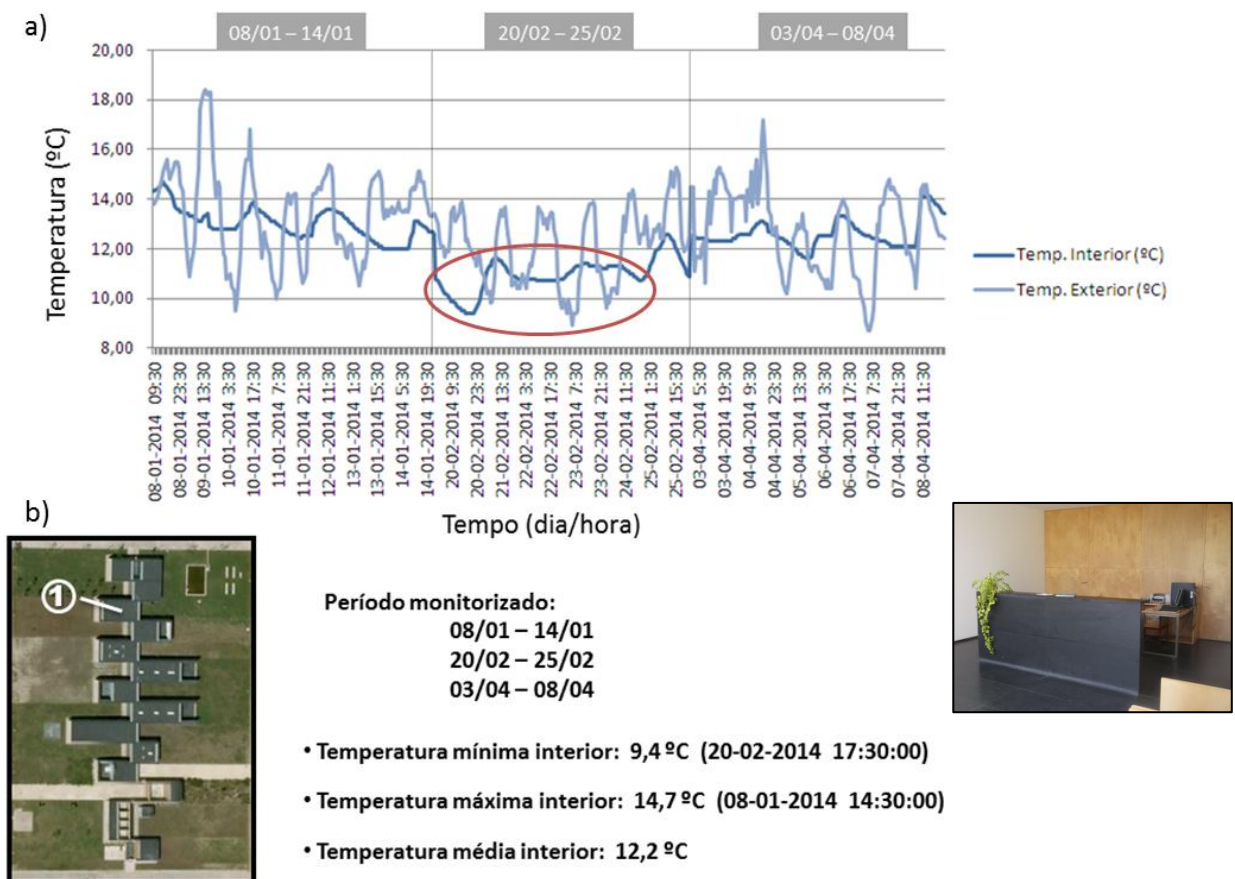


Fig. 69 – Temperaturas registadas no local 1, em comparação com as temperaturas exteriores. 69-a) Gráfico da evolução da temperatura interior no local 1; 69-b) Localização e temperaturas mínima, média e máxima.

Fonte: Autor

O local 1 registou uma temperatura interior baixa, mas constante e com poucas variações. Como se trata de um local amplo, sem separação com o corredor central,

era esperado que a temperatura interior tivesse uma amplitude térmica baixa, como se verificou. De destacar as baixas temperaturas interiores registadas durante os dias 20, 21, 22, 23 e de fevereiro, assinaladas pela elipse a vermelho, não alcançando os 12^o C e em que as temperaturas exteriores não passaram dos 14^o C. No global, a temperatura média interior, no local 1, de 12,2^o C é baixa e não permite obter conforto térmico.

4.6.1.1.3 - Temperatura Interior – Local 2

O local 2 do registo de temperatura está localizado no laboratório situado mais a sul da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta, como pode ser conferido na figura 67-2). Para a monitorização dos dados observáveis no gráfico da figura 70-a), foram tidos em consideração os dados recolhidos em três diferentes alturas do ano, comparando a temperatura interior com a temperatura exterior registada.

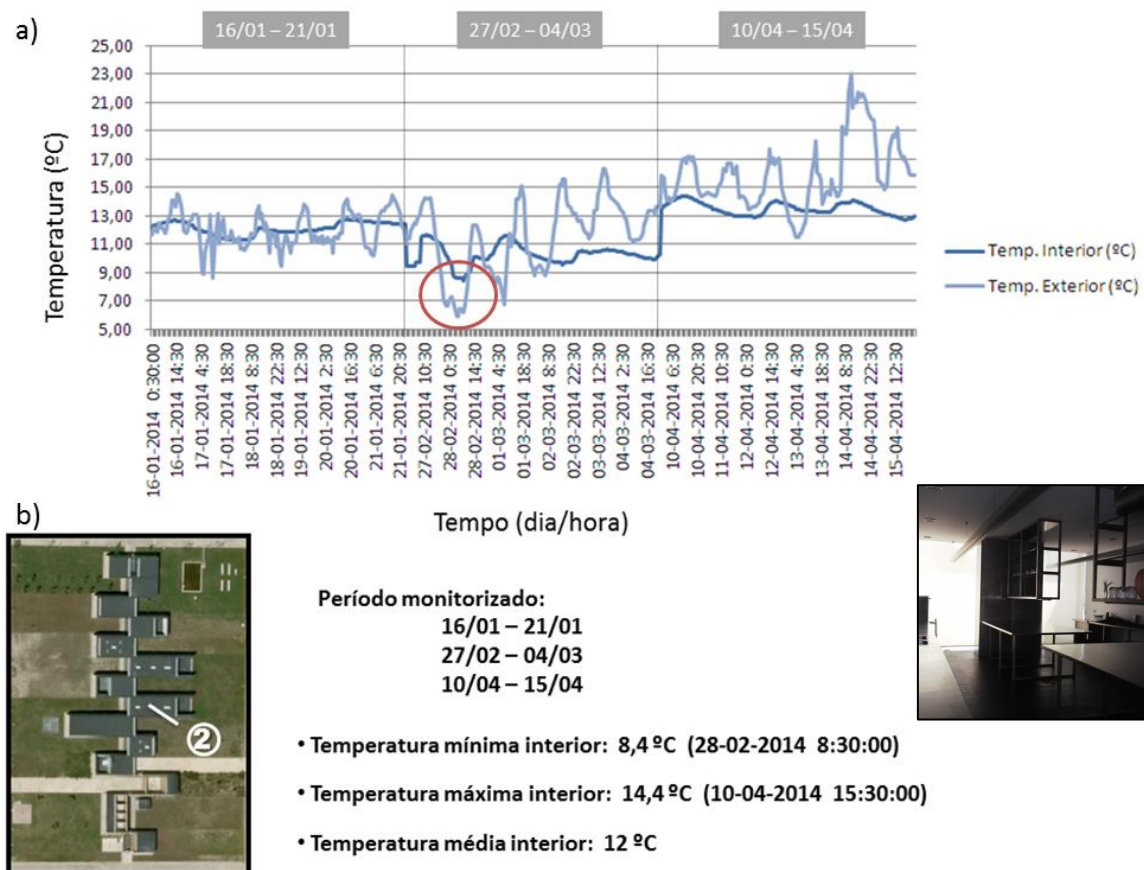


Fig. 70 – Temperaturas registadas no local 2, em comparação com as temperaturas exteriores. 70-a) Gráfico da evolução da temperatura interior no local 2; 70-b) Localização e temperaturas mínima, média e máxima.

Fonte: Autor

Durante o primeiro período, em janeiro, as temperaturas interiores foram constantes, a rondar os 12º C. No segundo, a temperatura interior alcançou um mínimo de 8,4º C, em destaque com o círculo vermelho, o que pareceu acompanhar a descida da temperatura exterior, ocorrida nesse período. Já em abril, as temperaturas interiores rondaram os 14º C. Com a exceção de fevereiro, registou-se uma baixa amplitude térmica, sendo a temperatura média interior de 12º C. Assim, o local 2 registou uma temperatura interior baixa durante os três períodos monitorizados. Para um local que recebe diariamente a presença de pessoas, que estão no interior do laboratório sentadas e sem grande atividade física, é uma temperatura baixa e que provoca desconforto térmico.

4.6.1.1.4 - Temperatura Interior – Local 3

O laboratório situado mais a norte do edifício da escola foi a sala identificada como o local 3 de registo, e pode ser visualizado na figura 67-3). Para a monitorização dos dados visíveis no gráfico da figura 71-a), foram tidos em consideração os dados recolhidos em três diferentes alturas do ano, comparando a temperatura interior com a temperatura exterior registada.

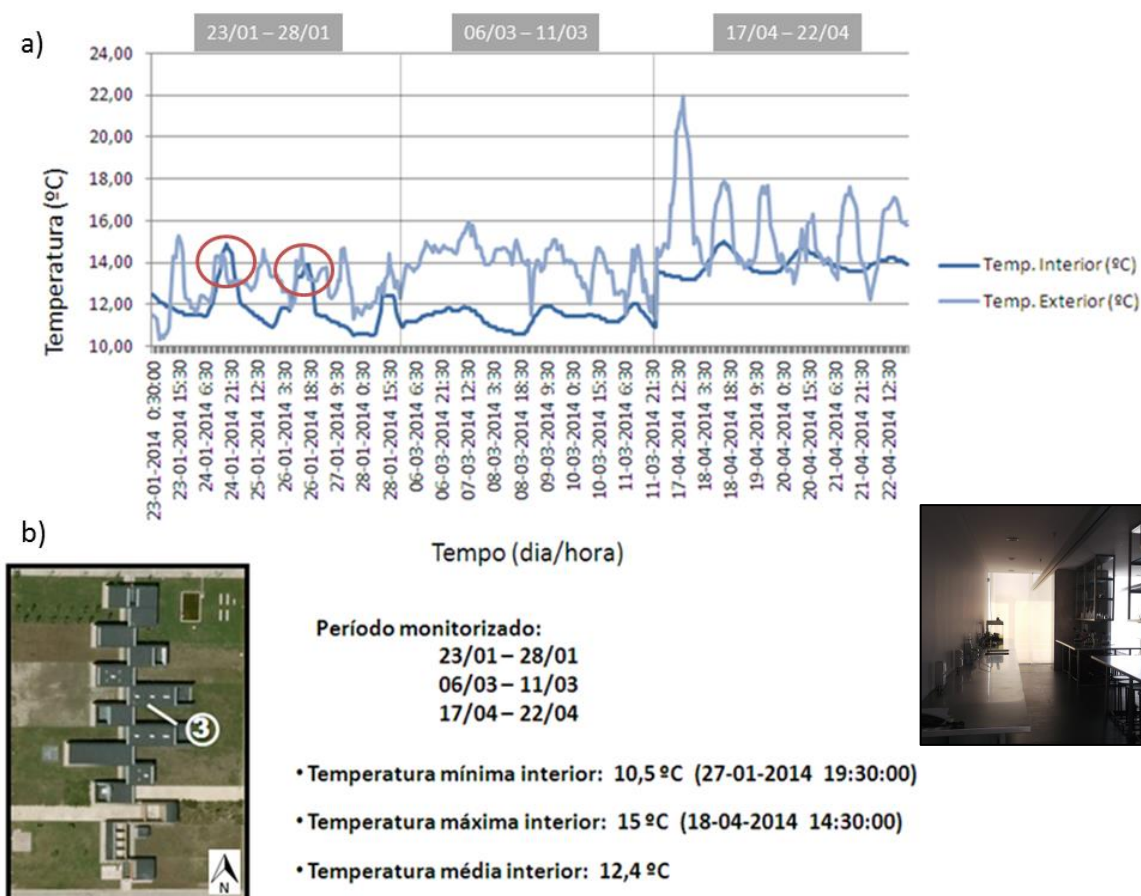


Fig. 71 – Temperaturas registadas no local 3, em comparação com as temperaturas exteriores. 71-a) Gráfico da evolução da temperatura interior no local 3; 71-b) Localização e temperaturas mínima, média e máxima

Fonte: Autor

Durante o primeiro período de monitorização as temperaturas interiores registaram uma considerável amplitude térmica. Os círculos vermelhos destacam as duas principais subidas de temperatura, nos dias 24 e 26 de janeiro. A temperatura interior registada no período 06/03 a 11/03 foi inferior a 12° C e é relativamente mais baixa do que a temperatura exterior registada durante o mesmo período. Já no mês de abril, as temperaturas exteriores alcançadas não foram o suficiente para aquecer a sala, e a temperatura interior manteve-se nos 14° C. O local 3 registou, assim, uma temperatura média interior baixa, de 12,4° C, mas com ligeiras subidas consideráveis em janeiro.

4.6.1.1.5 - Temperatura Interior – Local 4

O local identificado como 4 do registo de temperatura está localizado na biblioteca da escola de educação ambiental, como pode ser conferido na figura 67-4). Para a monitorização dos dados observáveis no gráfico da figura 72-a), foram tidos em

consideração os dados recolhidos em três diferentes alturas do ano, comparando a temperatura interior com a temperatura exterior registada durante o mesmo período.

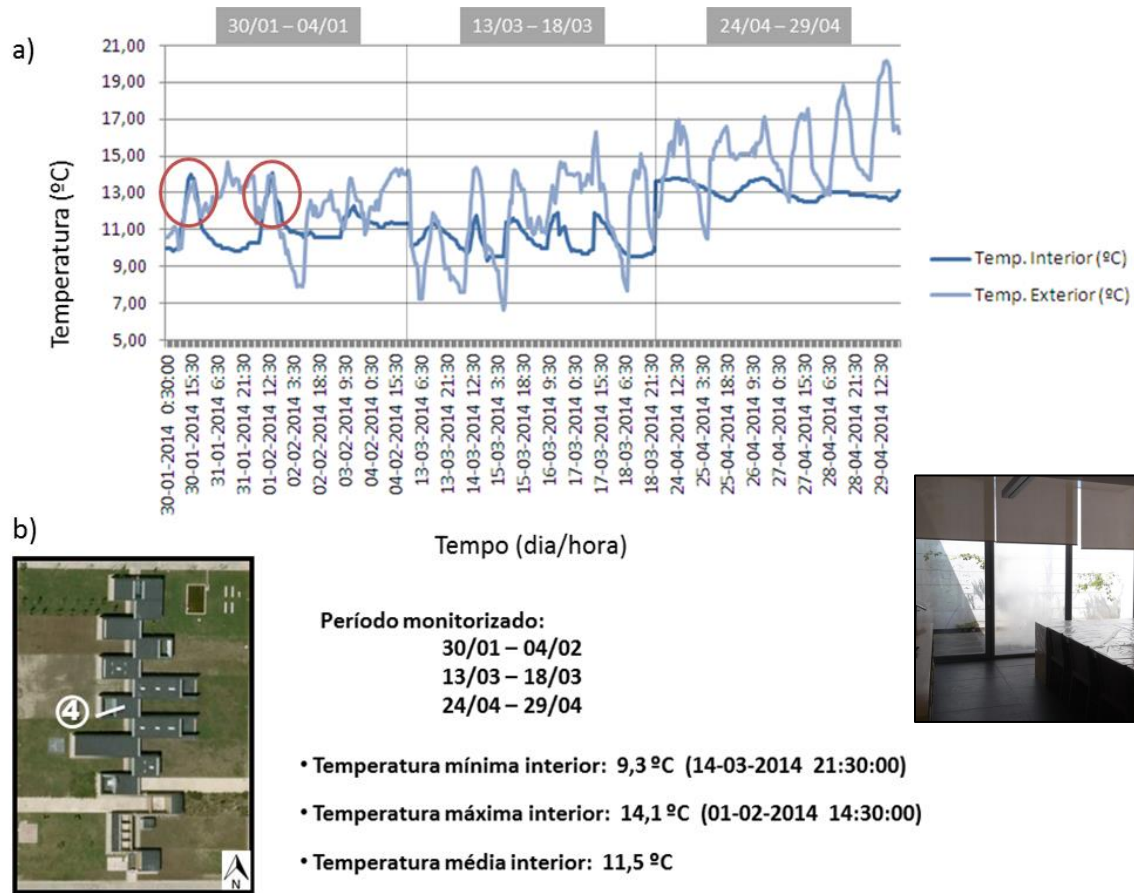


Fig. 72 – Temperaturas registadas no local 4, em comparação com as temperaturas exteriores. 72-a) Gráfico da evolução da temperatura interior no local 4; 72-b) Localização e temperaturas mínima, média e máxima

Fonte: Autor

O local 4 do registo de temperatura foi a sala que apresentou uma maior amplitude térmica. É possível observar, durante o primeiro período de monitorização, nos dias 30 de janeiro e 1 de fevereiro, destacado pelos círculos vermelhos, as subidas de temperatura no interior da sala, que acompanharam as subidas de temperatura exterior. Já durante o período de 13/03 a 18/03 também ocorreram subidas de temperatura durante o dia, voltando a diminuir durante a respetiva noite. Já no último período, de 24/04 a 29/04, a temperatura interior manteve-se constante, a rondar os 13° C, não parecendo ser influenciada pelas subidas, da temperatura exterior, registadas.

4.6.1.1.6 - Temperatura Interior – Local 5

O local 5 do registo de temperatura está localizado a meio do grande corredor que liga as salas do edifício, figura 67-5). Para a monitorização dos dados observáveis na figura 73-a), mais uma vez, foram tidos em consideração os dados recolhidos em três diferentes alturas do ano, comparando a temperatura interior com a temperatura exterior registada.

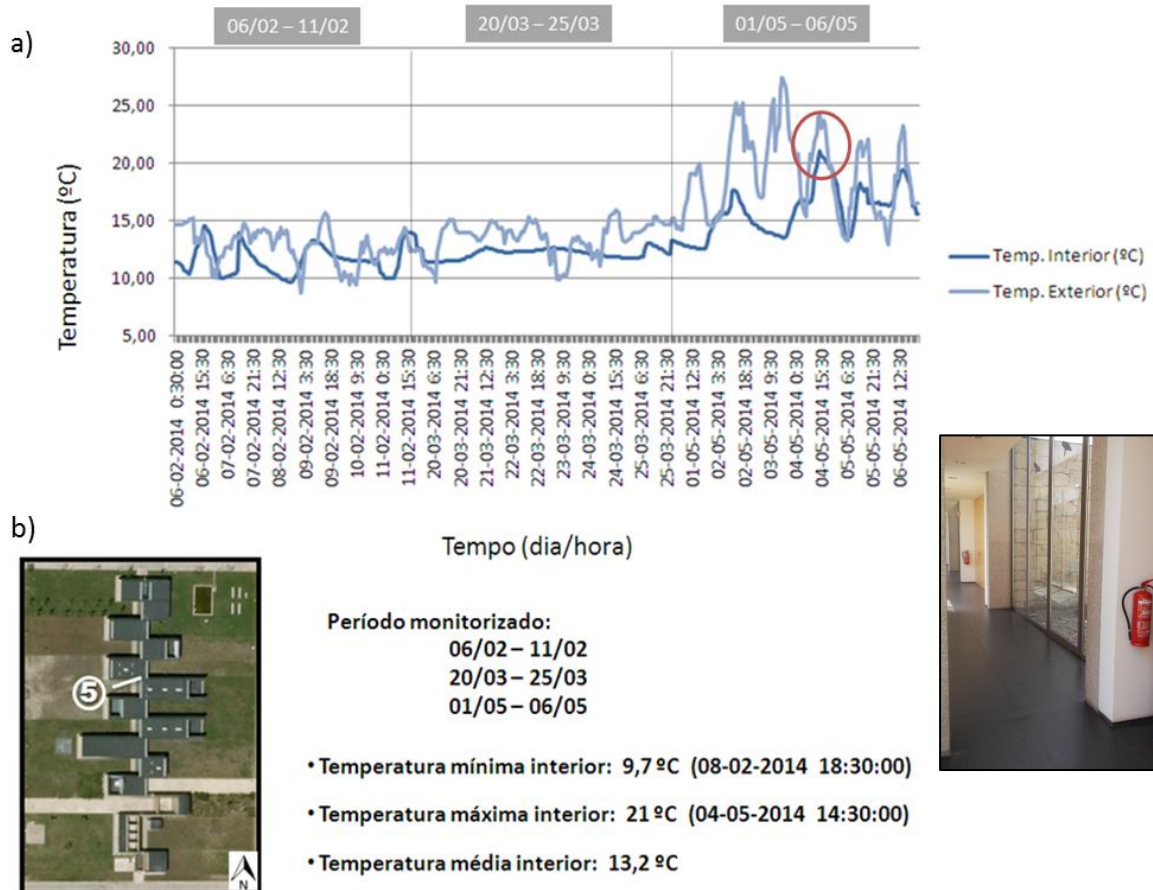


Fig. 73 – Temperaturas registadas no local 5, em comparação com as temperaturas exteriores. 73-a) Gráfico da evolução da temperatura interior no local 5; 73-b) Localização e temperaturas mínima, média e máxima

Fonte: Autor

No local 5 de registo da temperatura interior verificaram-se ligeiras subidas durante o primeiro período monitorizado. Nos dias de março a temperatura interior foi constante e, no último período de registo, a temperatura interior voltou a ter subidas, alcançando a temperatura máxima interior no dia 4 de abril, como destacado pelo círculo vermelho. Por o local 5 do registo de temperatura se encontrar situado no corredor central, a amplitude térmica registada acaba por não ir de encontro ao esperado. Este facto pode, eventualmente, ser explicado pelo facto do local se encontrar junto a vãos envidraçados, com uma porta, que poderá ter sido aberta,

influenciando a subida de temperatura. Ainda assim, a temperatura média interior foi de 13,2º C que, apesar de ser uma das maiores temperaturas médias interiores registadas, não garante o conforto térmico aconselhável para a presença no interior do edifício.

4.6.1.1.7 - Temperatura Interior – Local 6

O local 6, onde foi feito o registo de temperatura, está localizado no auditório da escola de educação ambiental, figura 67-6). O auditório é a maior sala do edifício e apresenta um sistema de renovação de ar pois, não possui qualquer abertura para o exterior. Assim, para a monitorização dos dados observáveis no gráfico na figura 74-a), foram tidos em consideração os dados recolhidos em três diferentes alturas do ano, comparando a temperatura interior com a temperatura exterior registada.

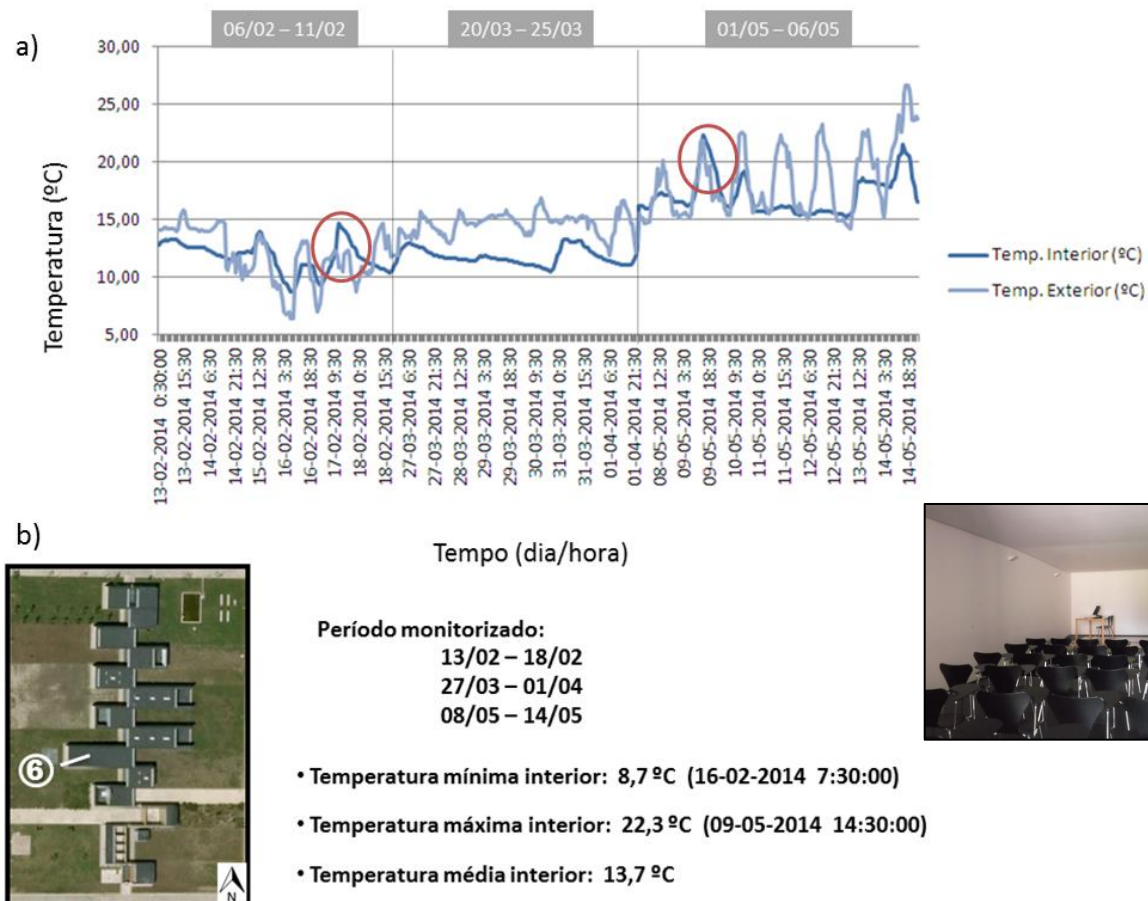


Fig. 74 – Temperaturas registadas no local 6, em comparação com as temperaturas exteriores. 74-a) Gráfico da evolução da temperatura interior no local 6; 74-b) Localização e temperaturas mínima, média e máxima

Fonte: Autor

O local 6 do registo de temperatura evidenciou uma relação mais próxima entre a temperatura interior e a temperatura exterior, em certos dias monitorizados. Durante

o primeiro período de monitorização ocorreu uma amplitude térmica significativa na temperatura interior, ultrapassando, inclusivamente, no dia 17 de fevereiro a temperatura registada no exterior, ocorrência assinalada pelo círculo vermelho. Em março a temperatura interior manteve-se estável, voltando no terceiro período monitorizado a contemplar subidas da temperatura interior, como assinalado no dia 9 de maio pela circunferência vermelha. A temperatura média interior de 13,7° C é reveladora da subida de temperatura primaveril. Pela observação dos dados é possível verificar que há dias em que o sistema de renovação de ar, existente no local, pode ter influenciado a temperatura interior.

4.6.1.2 - Câmara termográfica

Com o objetivo de conhecer melhor o comportamento térmico do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta, foi utilizada uma câmara de captação de imagens termográficas. A radiação de infravermelhos foi descoberta por William Herschel no ano de 1800 e, desde a descoberta do efeito termoelétrico por Thomas Johann Seebeck em 1821, que existiu, por parte da ciência, uma preocupação em conseguir medir estas ondas de longo comprimento. Os métodos utilizados para fazer o diagnóstico de um edifício podem ser destrutivos, semi-destrutivos ou não destrutivos. Assim, a termografia por infravermelhos é um dos métodos não destrutivos e que tem vindo a ser utilizado nos últimos 30 anos para diagnosticar problemas em estruturas e edifícios. A termografia por infravermelhos deteta a energia infravermelha emitida por um objeto, converte-o em temperatura e mostra uma imagem com a distribuição de temperatura no objeto. Assim, uma câmara termográfica de infravermelhos permite fazer uma ilustração termográfica da temperatura superficial, possuindo a característica de permitir quantificar a temperatura na superfície de um corpo. Capta a energia emitida, na zona de radiação infravermelha do espectro eletromagnético, e associa-a a uma escala de temperatura. O método permite avaliar a temperatura numa superfície e mostrá-la de forma visível, com a vantagem de não exigir um contacto do aparelho com o objeto. A termografia, já muito utilizada em edifícios, permite verificar falhas em isolamentos, localizar fugas de ar em portas e janelas, identificar infiltrações de água, localizar elementos estruturais não visíveis, entre outros. Esta técnica tem, ainda, sido bastante utilizada em procedimentos de teste industriais com o objetivo de identificar transferências de calor, perdas de calor, distribuições de energia e pontos quentes em equipamentos.

A câmara termográfica utilizada no edifício foi a FLIR i7, que possui a característica de captar uma qualidade de imagem de 140x140 pixels, e tem uma sensibilidade térmica de 0.10° C. (Figura 75)

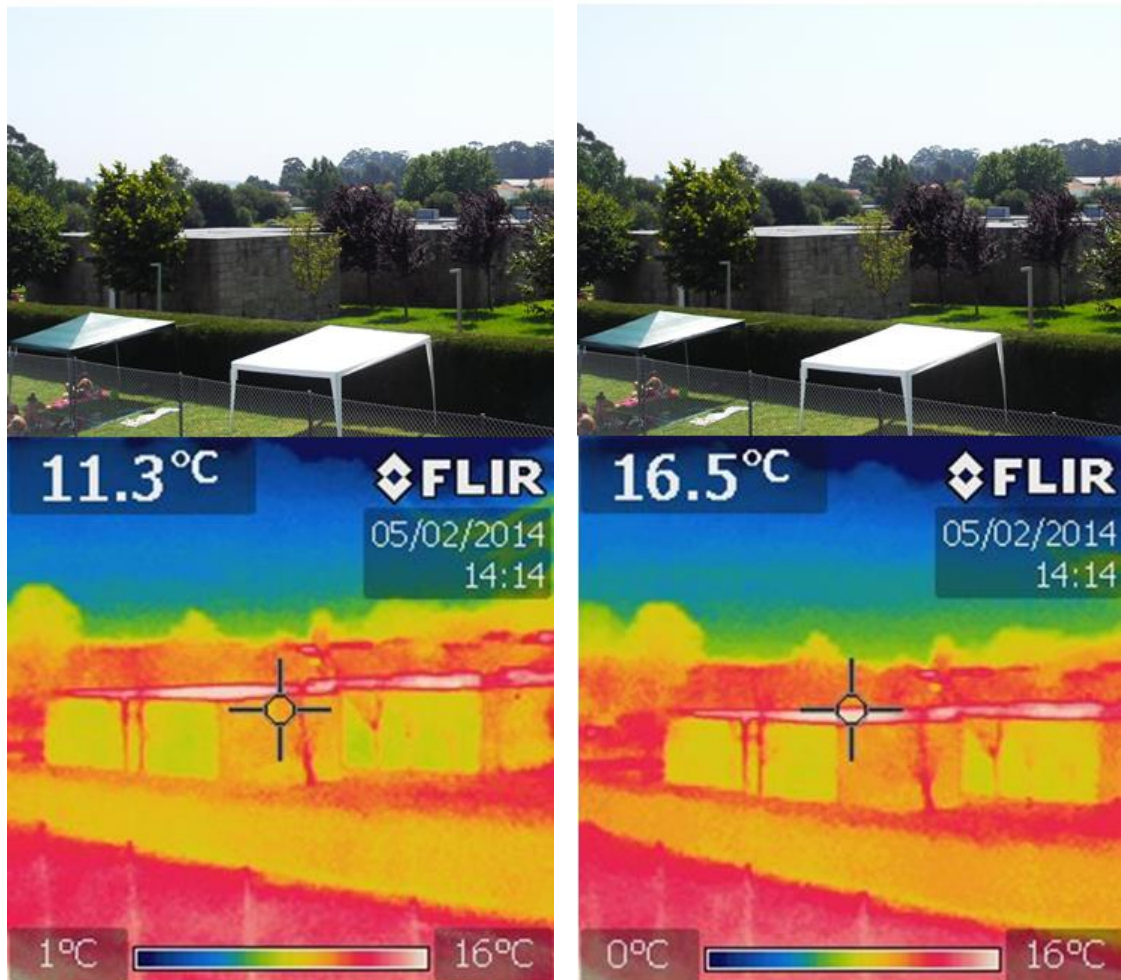


Fig. 75 – Câmara termográfica FLIR i7

Fonte: <http://www.thermokameras.com/Verkauf/Flir%20i-Serie/ID-4959gr.jpg>

A câmara foi utilizada, no interior e no exterior do edifício, no dia 5 de fevereiro de 2014. O objetivo da sua utilização passou por tentar obter informações sobre as diferenças térmicas existentes entre a cobertura e as paredes exteriores e identificar possíveis infiltrações de água que não fossem visíveis apenas pela observação. O dia apresentou-se com algumas nuvens, mas com o sol visível, e a média de temperatura, durante o dia, rondou os 14° C.

As fotografias termográficas seguintes, figuras 76 e 77, foram tiradas do lado poente do edifício, aparecendo representado nas imagens a fachada norte, poente e a cobertura. Na parte de cima das figuras encontra-se uma fotografia, captada no mês de Julho, correspondente à visualização da fotografia termográfica. É notória a diferença proporcionada pela vegetação de folha caduca, entre as fotografias visuais e as fotografias termográficas.



Figs. 76 e 77 – Fotografias termográficas do exterior da escola de educação ambiental

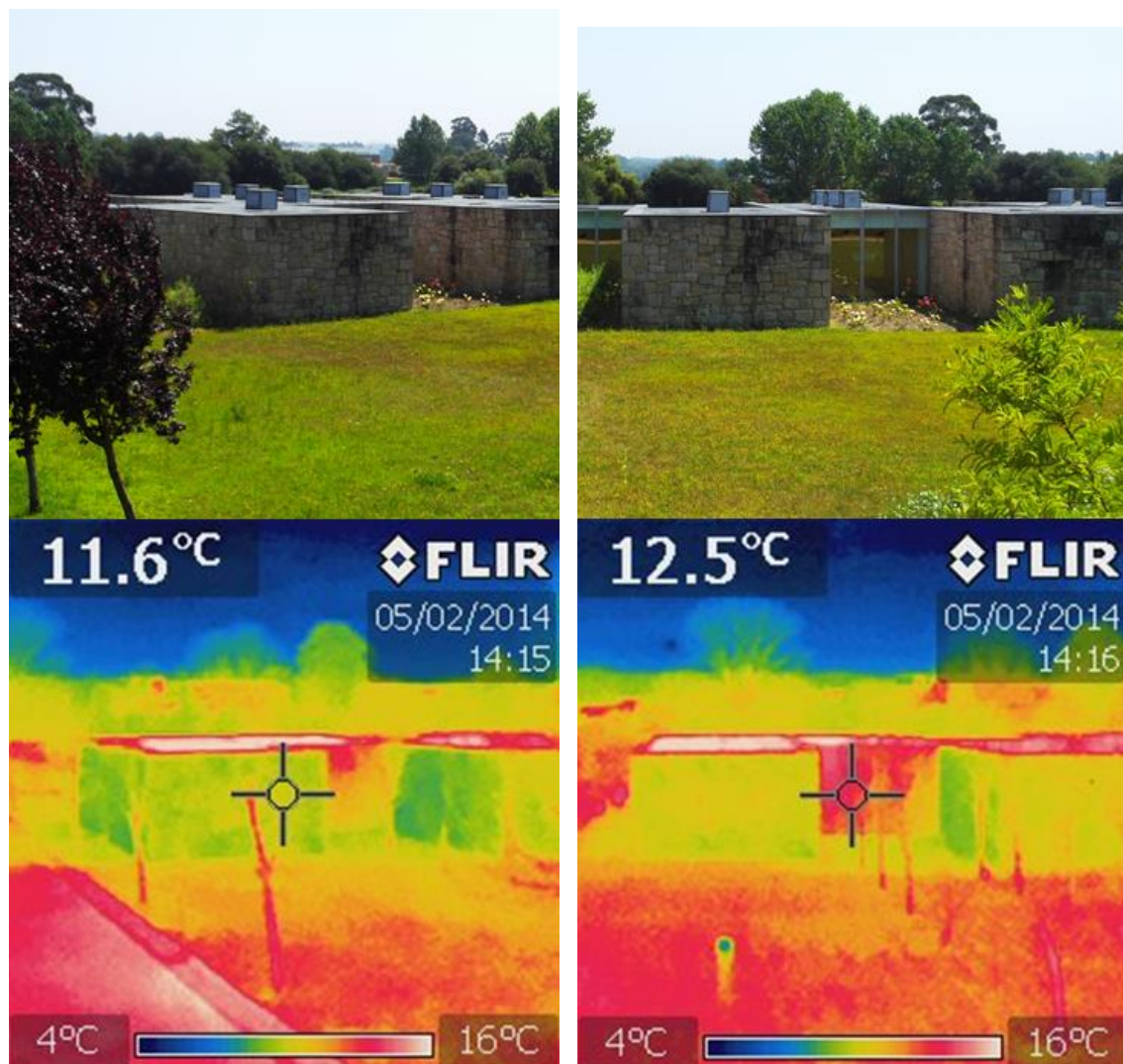
Fonte: Autor

Como é observável nas figuras 76 e 77, as fotografias termográficas mostram a distribuição da temperatura num local específico, sendo que cada cor representa uma faixa de temperatura diferente, relacionada com a escala na parte inferior da fotografia. Assim, a temperatura apresentada nas figuras, no canto superior esquerdo, refere-se à temperatura do ponto central de cada fotografia.

Nas figuras 76 e 77, tiradas com o mesmo ângulo de visão, podemos verificar as diferenças de temperatura existentes nas diferentes fachadas do edifício. A figura 76 apresenta o ponto central da fotografia na fachada poente, revelando uma temperatura de 11,3º C. É possível verificar pela observação da fotografia, relacionando a escala de temperaturas apresentada na parte inferior, que a fachada poente onde se encontra o ponto central, apresenta uma coloração a tender para o vermelho, ou seja, possui uma temperatura mais alta que a fachada do lado esquerdo, voltada a norte, e que apresenta uma cor amarela. Isto deve-se à orientação das

fachadas, sendo que a fachada voltada a poente recebeu, e vai continuar a receber, energia solar, até ao anoitecer.

Na figura 77, o ponto central da fotografia está na cobertura do edifício. Associando a escala de temperaturas da fotografia é possível observar que a cobertura é a área do edifício que apresenta temperaturas mais elevadas. A temperatura apresentada é de 16,5° C e a diferença de temperatura para a fachada poente é de 5,2° C. Os resultados eram os expectáveis pois, para além de a cobertura ser a área com maior exposição solar do edifício, a constituição da cobertura, neste caso composta por lajes negras de ardósia, propicia a retenção da energia solar recebida durante o dia, alcançando temperaturas elevadas.



Figs. 78 e 79 – Fotografias termográficas do exterior da escola de educação ambiental

Fonte: Autor

Nas figuras 78 e 79 é estabelecida uma comparação entre as diferenças de temperatura da parede da fachada poente e um dos vidros do corredor central, voltado a poente. A figura 78, apresenta o ponto central da fotografia numa das paredes de granito, indicando uma temperatura de $11,6^{\circ}\text{C}$, enquanto a figura 79 revela uma temperatura superior em $0,9^{\circ}\text{C}$, indicando uma temperatura de $12,5^{\circ}\text{C}$ para o vidro, ambos voltados a poente. A diferença de temperatura acaba por não ser significativa.

A figura 80 resume pormenores adicionais observados no edifício da escola de educação ambiental. É possível observar na fotografia 80-1) uma visualização exterior do edifício onde é possível verificar as diferenças de cor entre as paredes exteriores e a cobertura do edifício. Nas fotografias 80-2) e 80-3) podem identificar-se no topo dos vãos envidraçados, do corredor central do edifício, duas possíveis falhas no isolamento.

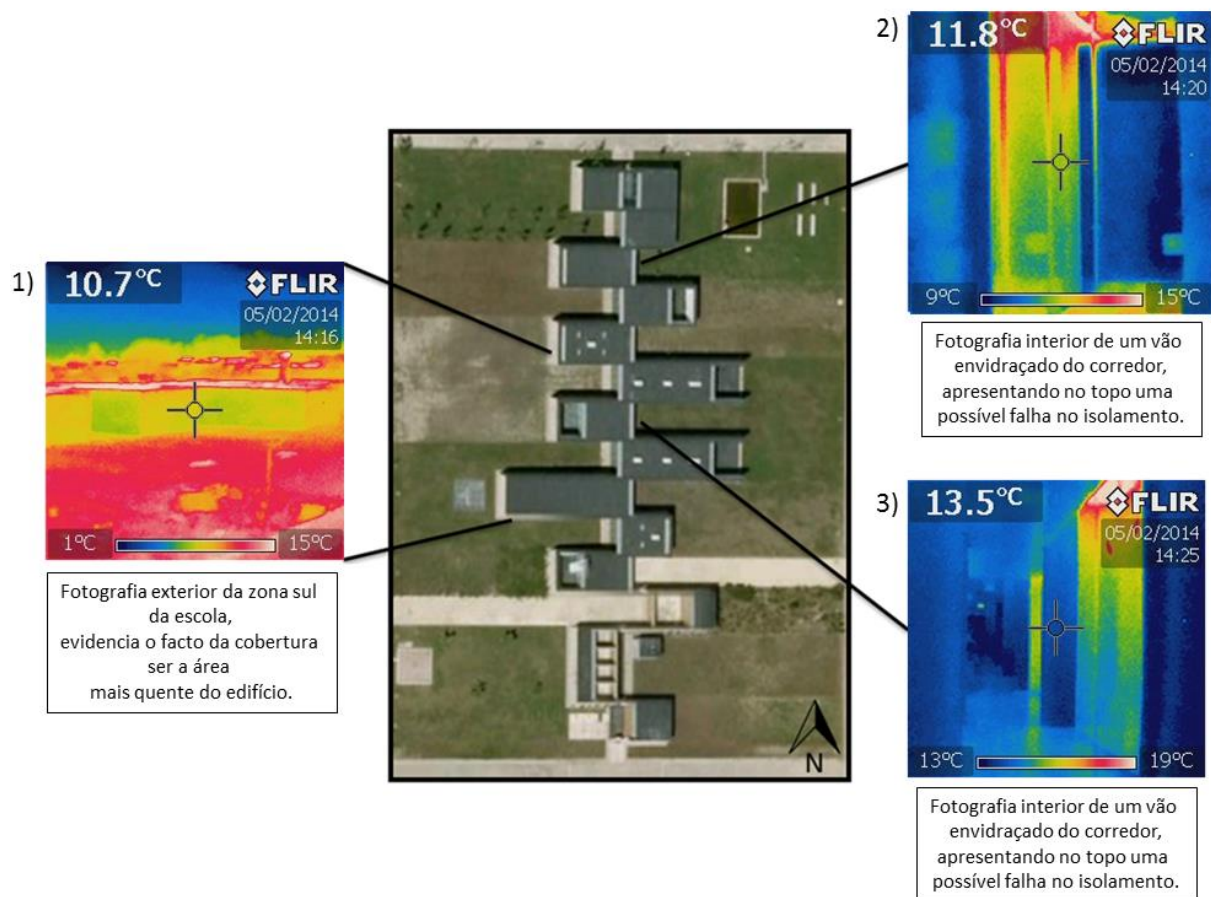


Fig. 80 – Fotografias termográficas do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta. 80-1) Fotografia exterior da zona sul da escola; 80-2) Fotografia interior de um vão envidraçado; 80-3) Fotografia interior de um vão envidraçado

Fonte: Autor

4.6.2 - Humidade

A humidade é um dos fatores, para além da temperatura, a ter em conta quando falamos de conforto térmico em edifícios. A humidade do ar, que diz respeito à quantidade de vapor de água presente na atmosfera, interfere diretamente com os mecanismos de perda de água do corpo humano. A baixa humidade em edifícios tem vindo a ser associada a problemas como complicações alérgicas e respiratórias, sangramento pelo nariz e irritação na região ocular. A elevada humidade, para além de dificultar as perdas de água do corpo humano com o meio, pode ser favorável à proliferação de fungos e micro-organismos, criando condições favoráveis para o seu desenvolvimento em contexto de elevada humidade no interior de edifícios. Já a humidade relativa do ar exterior é um dos fatores que pode influenciar as trocas térmicas entre a envolvente e o edifício.

A humidade relativa do ar foi um dos parâmetros monitorizado através da estação meteorológica colocada no edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta. A humidade relativa do ar exterior pode ser observada no gráfico da figura 81-a).

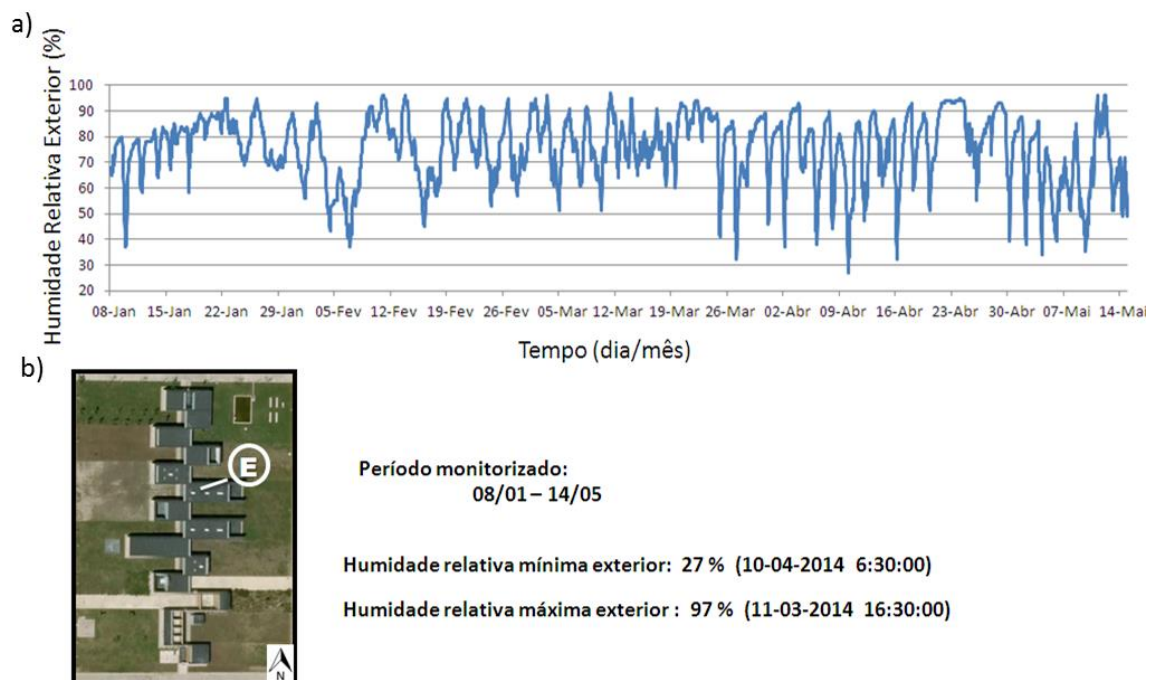


Fig. 81 – Humidade relativa exterior registada no Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta. . 81-a) Gráfico da evolução da humidade exterior; 81-b) Localização e humidade relativa mínima e máxima.

Fonte: Autor

Os registos de humidade exterior acabaram por ir de encontro ao esperado, tendo em conta a altura do ano em que os dados foram monitorizados, com registos de humidade elevada, valores de humidade relativa na ordem dos 90%, em períodos de precipitação e humidade baixa em períodos secos e sem nebulosidade.

A monitorização da humidade relativa interior ocorreu juntamente com a da temperatura interior, com a presença do recetor da estação meteorológica em vários pontos no interior do edifício. De forma a facilitar a leitura dos dados recolhidos, considerando que a mudança de local do recetor não era significativa pois não provocou alteração nos dados, fez-se uma leitura global do período monitorizado. Os dados recolhidos relativos à humidade relativa interior podem ser visualizados na figura 82.

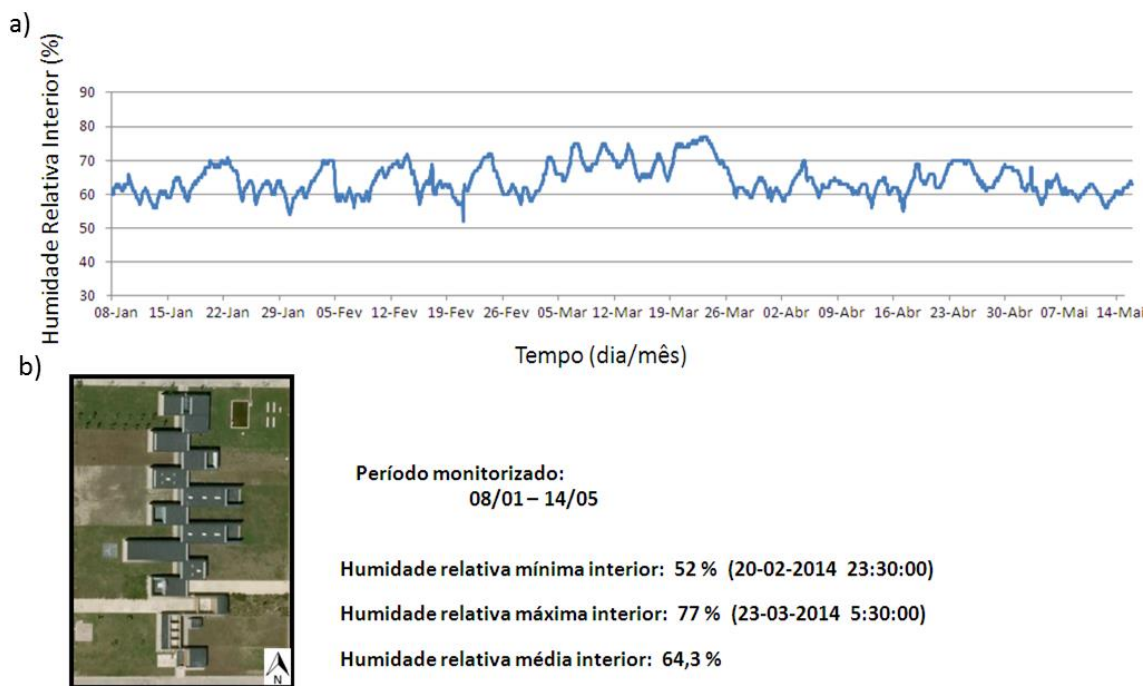


Fig. 82 – Humidade relativa interior registada no Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta. 82-a) Gráfico da evolução da humidade relativa interior; 82-b) Humidade relativa mínima, média e máxima

Fonte: Autor

A humidade relativa interior registada, no edifício da escola de educação ambiental, situa-se dentro dos parâmetros ideais para a qualidade de ar interior e conforto térmico. Os valores aconselháveis estão entre 50 a 60 % de humidade relativa, sendo que a média atingida pelo edifício é de 64,3 %. O mês de março foi o mês em que se registou uma humidade mais elevada na escola. No entanto, nos restantes meses esse valor rondou os 60 %, revelando ser um valor constante.

A totalidade dos dados registados da humidade interior e exterior, pode ser consultada nos anexos presentes no final do relatório de estágio.

4.6.3 - Vento

O vento é outro dos fatores que pode contribuir para a diminuição da temperatura de um edifício através da transferência de calor por convecção que ocorre sobre o exterior do mesmo. Numa cobertura ajardinada o vento influencia diretamente a taxa de evapotranspiração de uma cobertura, devido ao efeito de convecção, principalmente nos meses mais quentes.

O vento foi outro dos parâmetros monitorizados pela estação meteorológica instalada na escola de educação ambiental da Quinta da Gruta. Como o vento é um dos critérios limitativos na escolha da vegetação tornou-se importante conhecer o seu comportamento. O registo da intensidade e direção do vento, no período monitorizado, pode ser visualizado na figura 83.

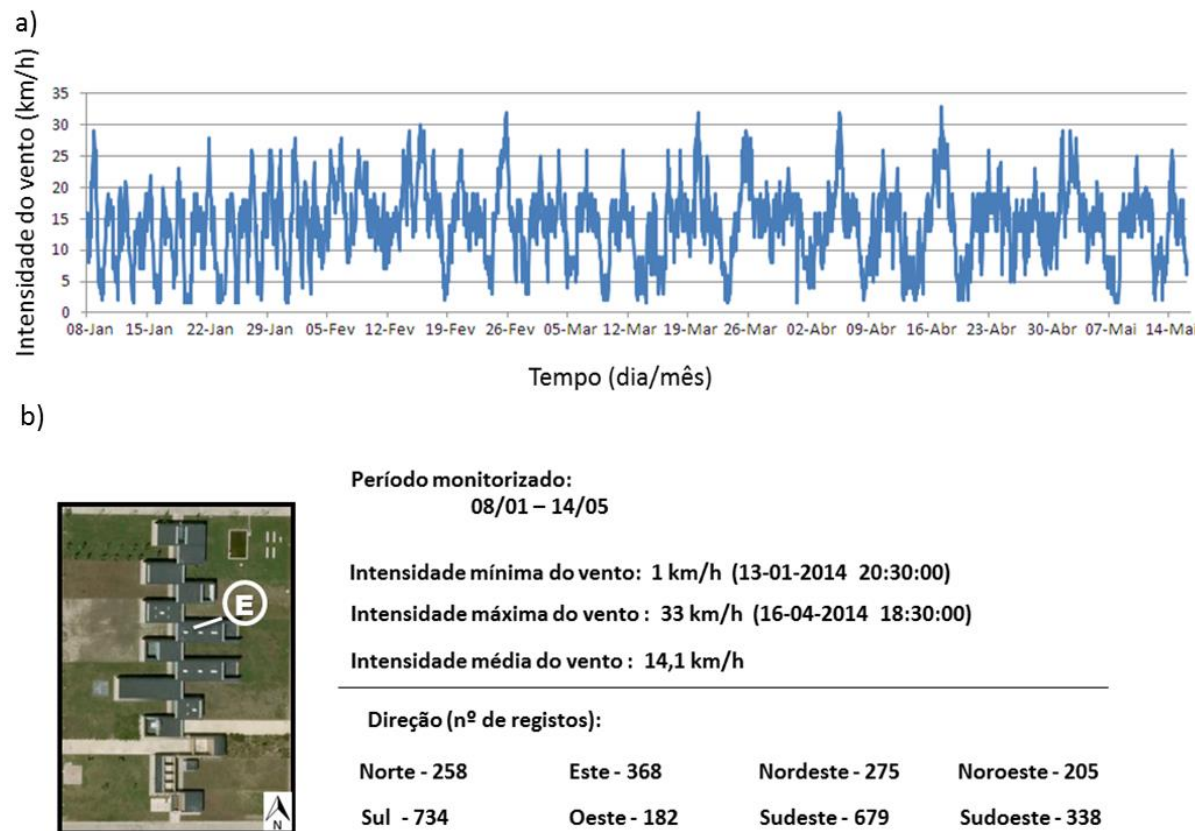


Fig. 83 – Intensidade e direção do vento, no Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta. 83-a) Gráfico da evolução da intensidade do vento; 82-b) Intensidade do vento mínima, média e máxima e direções.

Fonte: Autor

Os dados registados permitiram observar uma amplitude considerável, no entanto, sem ventos muito fortes, atingindo os 30 km/h raras vezes. As “Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo – Cubiertas Verdes” atribuem à zona ocidental de Portugal, onde o concelho da Maia se insere, uma intensidade média de vento de 15-20 km/h. A intensidade média, na escola de educação ambiental, foi de 14,1 km/h acabando por ficar abaixo da média atribuída pelas normas técnicas espanholas. Os resultados foram os esperados uma vez que, a zona onde o Complexo de Educação Ambiental se insere, já era um local conhecido por ter uma intensidade de vento fraca. As direções predominantes do vento registadas foram Sul e Sudeste.

A totalidade dos dados registados, sobre a intensidade e direção do vento, pode ser consultada nos anexos presentes no final do relatório de estágio.

4.7 - Diagnóstico

Depois de feita uma análise ao edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta, torna-se necessário, como síntese, elaborar um diagnóstico, identificando os principais problemas e oportunidades do edifício.

Na primeira visita ao Complexo de Educação Ambiental, em outubro de 2013, foi perceptível, ao entrar no edifício, que a temperatura no seu interior não oferecia o conforto térmico adequado para uma estadia prolongada no interior do mesmo. As infiltrações de água, encontradas no teto e em alguns dos vidros do edifício, apontavam para a possibilidade de falhas na impermeabilização da cobertura. A visita ao topo do edifício permitiu observar várias lajes negras de ardósia danificadas que, para além de estarem a comprometer o isolamento da camada de ar entre as lajes e a impermeabilização, poderão ter danificado a impermeabilização através de vários segmentos de ardósia partidos que se encontram espalhados pela cobertura. Essas infiltrações são visíveis no teto do edifício.

Pela análise à orientação solar pudemos identificar como maior situação problemática os vidros das fachadas este e oeste, que se encontram desprotegidos de qualquer sombreamento, e que permitem ao edifício, nos meses de verão, atingir temperaturas bastante elevadas.

As medições levadas a cabo permitiram constatar que as temperaturas no interior do edifício, nos meses de inverno, são baixas e não permitem obter o conforto térmico necessário. Na figura 84 é possível observar uma representação gráfica da

situação de conforto térmico relacionando a temperatura e a humidade. De realçar que as temperaturas interiores registadas nos vários pontos do edifício apenas no mês de maio ultrapassaram o valor de 16º C. Por limitações de prazos, a monitorização com a estação meteorológica não contemplou os meses de verão, que são indicados pelos utilizadores e funcionários do edifício como bastante críticos devido às temperaturas elevadas no seu interior.

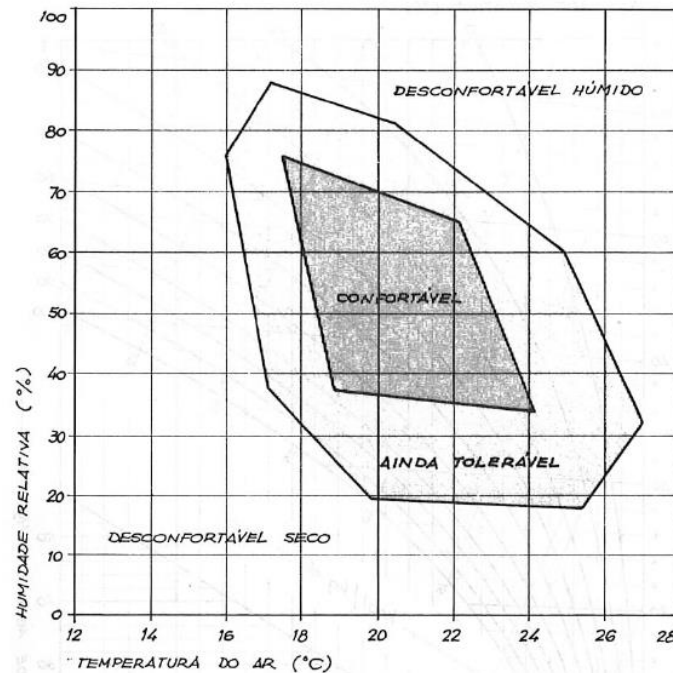


Fig. 84 – Representação gráfica da situação de conforto térmico relacionando a temperatura e a humidade
Fontes: Moita, 2010, p.67

A utilização da câmara termográfica permitiu, ainda, evidenciar a elevada temperatura a que a cobertura da escola está sujeita, devido às características da ardósia. As lajes, de cor preta, absorvem uma elevada quantidade de energia quando expostas ao sol, contribuindo para o aquecimento excessivo do edifício. O reforço do isolamento da cobertura do edifício torna-se, assim, imperativo devido à cobertura ser a área do edifício que está sujeita a maiores amplitudes térmicas. Ao longo do dia atinge temperaturas elevadas, devido à exposição direta à radiação solar. Já durante a noite, a cobertura é uma das zonas do edifício que transfere para o espaço e para o interior do edifício uma quantidade de calor significativa. O recurso a fotografias termográficas contribuiu para detetar eventuais falhas de isolamento no topo dos vãos envidraçados. A correção de isolamento de vãos envidraçados e portas é de grande importância, uma vez que a fenestração, quando mal concebida, pode causar perdas energéticas até 35 % das necessidades térmicas de um edifício (MOITA, 2010).

A humidade interior registada está dentro dos parâmetros ideais para o conforto térmico necessário e qualidade do ar interior.

4.8 - Estratégia

Para a resolução dos problemas identificados no diagnóstico, será necessário recorrer a uma intervenção no edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta.

A implementação de uma cobertura ajardinada, apoiada na revisão bibliográfica levada a cabo, foi uma das soluções encontradas para a cobertura do edifício. A opção de transformar a cobertura atual numa cobertura com vegetação irá permitir a colocação de uma nova membrana de impermeabilização, que impedirá novas infiltrações de água no interior do edifício, melhorando o isolamento proporcionado pela cobertura do mesmo. Como é possível observar na figura 85, diminuirá a amplitude térmica da cobertura, influenciando a temperatura interior. A cobertura ajardinada, devido à vegetação e à camada de substrato, aumenta a capacidade de isolamento e a inércia térmica do conjunto edificado (MOITA, 2010).

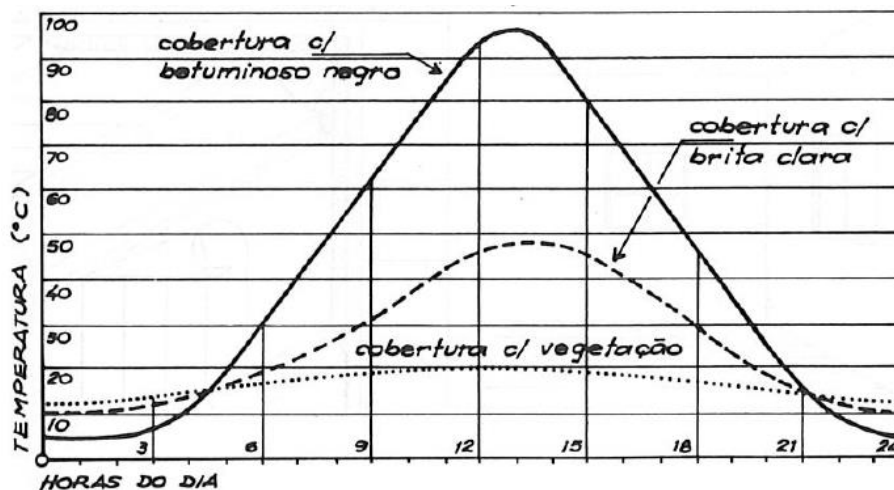


Fig. 85 – Temperatura diária à superfície de diferentes coberturas

Fontes: Moita, 2010, p.59

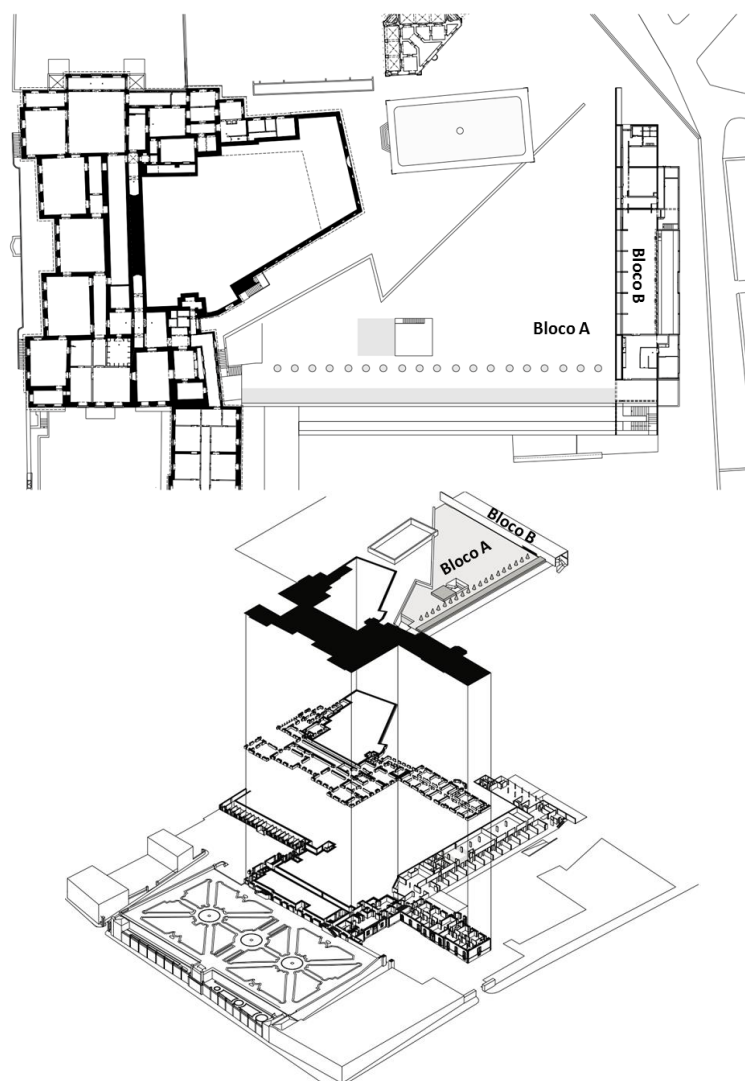
A utilização de sombreamento nos vidros das fachadas este e oeste, com o objetivo de diminuir a radiação solar interior, é outra das possíveis soluções para controlar a temperatura interior. As falhas de isolamento dos vidros devem, também, ser corrigidas sob pena de comprometer a eficácia das soluções apresentadas.

5 - Proposta de Cobertura Ajardinada e Quantificação de Benefícios

5.1 - Casos de estudo

5.1.1 - Centro de Documentação e Informação - Palácio de Belém

O edifício do Centro de Documentação e Informação (CDI) do Palácio de Belém foi inaugurado no ano de 2002 e é obra do arquiteto português João Carrilho da Graça. É composto por dois blocos, denominados Bloco A e Bloco B, contando, cada um, com uma cobertura ajardinada. As figuras 86 e 87 são a planta e uma axonométrica explodida do CDI do Palácio de Belém.



Figs. 86 e 87 – Planta e axonométrica explodida do CDI do Palácio de Belém

Fonte: <http://www.archdaily.com.br/br/01-37199/centro-de-documentacao-e-informacao-palacio-de-belem-carrilho-da-graca-arquitectos>

O bloco A, do edifício do CDI, tem uma dimensão de 1166m² e possui uma cobertura ajardinada do tipo intensivo. O bloco B tem cerca de 500 m² de área e tem uma cobertura ajardinada do tipo extensivo. A figura 88 permite visualizar a orientação do edifício, enquanto permite observar o enquadramento do edifício na paisagem da zona de Belém, na cidade de Lisboa.



Fig. 88 – Vista aérea do edifício do CDI do Palácio de Belém

Fonte: Bing Maps (Adaptado)

O bloco A do CDI, com uma cobertura ajardinada intensiva, possui um relvado que é pontuado por lavanda (*Lavandula angustifolia*), a nascente, e marcada por um alinhamento de teixos (*Taxus baccata*) talhados em forma cónica. A figura 89 permite observar a divisória existente entre a cobertura ajardinada do bloco A e o jardim, uma vez que se encontram unidos e sem fronteira visível. A linha preta marca a divisória, em que a parte colorida, a verde-claro, corresponde à zona de jardim e a zona por colorir à cobertura ajardinada. Na figura 89 é, ainda, possível observar os vãos envidraçados dos gabinetes que se situam na parte debaixo da cobertura ajardinada.

O bloco B, sendo uma cobertura ajardinada do tipo extensivo, apresenta suculentas do género *Sedum* como vegetação predominante.



Fig. 89 – Vista aérea do edifício do CDI do Palácio de Belém, com a divisória entre jardim e cobertura ajardinada

Fonte: Bing Maps (Adaptado)

Para além do interesse técnico, e estético, da cobertura ajardinada do CDI, a escolha para caso de estudo incidiu neste edifício devido à auditoria energética que foi levada a cabo no complexo do Palácio de Belém, no ano de 2007. Esta auditoria energética é um dos casos, ainda raros em Portugal, em que foi executado um estudo térmico a um edifício com uma cobertura ajardinada. Estes estudos, mais comuns em países onde as coberturas ajardinadas se encontram em maior número, como na Alemanha e nos Estados Unidos da América, tornam-se bastante importantes no nosso clima, para um conhecimento mais profundo dos efeitos térmicos que uma cobertura ajardinada poderá proporcionar a um edifício em Portugal.

A auditoria energética, levada a cabo no mês de maio de 2007, entre outros, contemplou o CDI do Palácio de Belém, mais precisamente o bloco A. A escolha deste edifício para a realização de uma auditoria energética deveu-se à presença de gabinetes, observáveis na figura 90, voltados a nascente, e que, devido aos vãos envidraçados da fachada, permitem a passagem dos raios solares no período da manhã, provocando a subida da temperatura no interior.



Fig. 90 – Gabinetes do CDI, do Palácio de Belém, voltados a nascente

Fonte: https://scontent-a-cdg.xx.fbcdn.net/hphotos-xap1/t1.0-9/p180x540/1619661_460758724050083_898254307_n.jpg

A monitorização da temperatura foi feita no exterior do edifício e no interior de quatro dos gabinetes, considerados os mais críticos pelo desconforto térmico sentido pelos trabalhadores. O mês contemplado para a medição foi maio, por se ter considerado como o mês de transição climática. Na figura 91 é possível visualizar o gráfico, presente no relatório da auditoria energética, da evolução da temperatura, em horas, no exterior do edifício e nos quatro gabinetes monitorizados do CDI, durante o mês de maio de 2007.

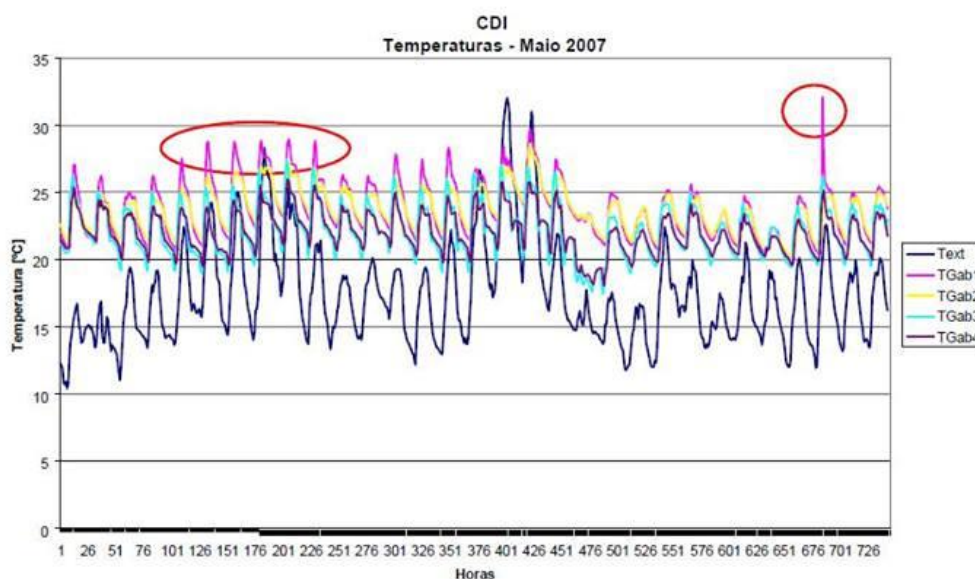


Fig. 91 – Gráfico da evolução da temperatura no exterior do edifício e nos quatro gabinetes monitorizados do CDI

Fonte: Relatório da Auditoria ao Palácio de Belém, 2007

Pela leitura do gráfico, da figura 91, é possível verificar que existe uma amplitude térmica diária de cerca de 5º C, no interior dos gabinetes. As temperaturas têm tendência a subir rapidamente, durante o período da manhã, diminuindo gradualmente ao longo do dia. É possível, ainda, observar os picos de temperatura, assinalados pelas elipses a vermelho, com subidas de temperatura especialmente críticas no denominado Gabinete 1, com temperaturas a aproximarem-se dos 30º C, correspondendo a situações de grande desconforto térmico.

Estes picos de temperatura poderiam, ainda, ter uma maior dimensão, não fosse a presença da cobertura ajardinada, no bloco A, que evita a acumulação de calor na cobertura, que é transferido depois para o interior do edifício, como é comum nas coberturas tradicionais.

Através da análise à monitorização da temperatura efetuada durante o mês de maio, foi proposto, no relatório da auditoria energética, a fim de evitar picos de temperatura no período da manhã, a possibilidade de intervir no sombreamento exterior dos vãos envidraçados dos gabinetes, que se encontram virados a nascente. Foi proposto, pelos técnicos, a instalação de sombreamentos ou películas de proteção nas superfícies transparentes demasiado expostas à radiação solar.

Com o objetivo de conhecer melhor este caso de estudo, foi realizada uma visita ao Palácio de Belém que contemplou a visita às coberturas ajardinadas do bloco A e do bloco B do CDI no dia 6 de junho de 2013. Esta visita técnica incluía, também, a utilização da câmara termográfica de infravermelhos, utilizada no edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta. Um dos objetivos do recurso a essa câmara foi encontrar possíveis lacunas, como acumulações de água na cobertura. As alterações súbitas das condições atmosféricas não ajudaram e, devido ao início de um dia chuvoso que acompanhou a visita às instalações do Palácio de Belém, não foi possível a utilização da termografia para obtenção de uma leitura credível do ponto de vista técnico.

A primeira cobertura ajardinada a ser visitada foi a cobertura ajardinada extensiva do bloco B. Esta cobertura encontra-se inacessível a utilizadores pois, para se ter acesso ao topo, é necessário recorrer a uma escada manual, e subir mais de 5 metros de altura, e não está preparada para que se caminhe sobre a sua estrutura. A cobertura ajardinada encontra-se num estado de degradação avançado, com vários elementos da estrutura danificados e algumas zonas encontram-se despidas de vegetação. Os tubos de rega encontram-se distribuídos desordenadamente à

superfície e, para além das plantas do género *Sedum*, vários musgos colonizaram a cobertura. Existem, inclusivamente, algumas lacunas da fase de projeto que fazem com que a estrutura utilizada não seja a ideal para uma cobertura ajardinada do tipo extensivo. Na figura 92, é possível observar uma fotografia da cobertura ajardinada, captada no momento da visita, acompanhada por três fotografias da câmara termográfica de infravermelhos.

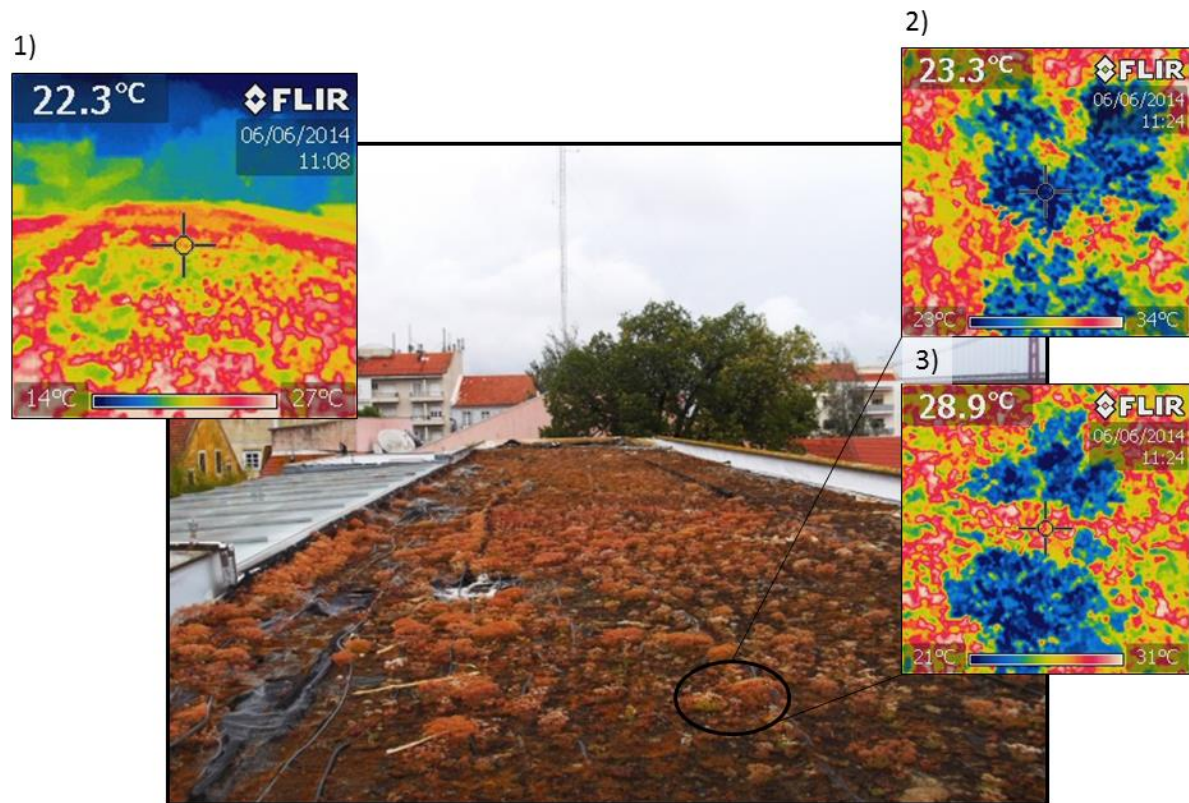


Fig. 92 – Cobertura ajardinada extensiva do bloco B do CDI, do Palácio de Belém, e fotografias termográficas da cobertura. 92-1) Fotografia termográfica geral da cobertura, 92-2) Fotografia termográfica de pormenor da cobertura, 92-3) Fotografia termográfica de pormenor da cobertura

Fonte: Autor

Na fotografia termográfica 92-1) é possível visualizar a temperatura superficial da cobertura ajardinada do bloco B do CDI. As plantas do género *Sedum* apresentam uma temperatura inferior aos musgos presentes na cobertura, como pode ser comprovado pelas fotografias termográficas de detalhe 92-2) e 92-3). A fotografia 92-2) apresenta, como ponto central, uma das plantas *Sedum* da cobertura, enquanto a fotografia 92-3) tem o ponto central nos musgos adjacentes. A diferença de temperatura entre as espécies vegetais é superior a 5° C, que faz com que na fotografia 92-1) o tom amarelo seja correspondente às plantas do género *Sedum*, enquanto que o tom vermelho, atribuído a uma temperatura superior, pertence aos musgos presentes na cobertura ajardinada.

Já na cobertura ajardinada intensiva, do bloco A do CDI, é possível a utilização do espaço, uma vez que se encontra ao nível do caminho que percorre o jardim do Palácio de Belém. Nesta cobertura ajardinada, que possui os gabinetes onde foi realizada a monitorização da temperatura, a lavanda e os teixos aparentam apresentar uma temperatura inferior ao relvado que cobre uma grande área da cobertura ajardinada, esse facto pode ser visto na figura 93.

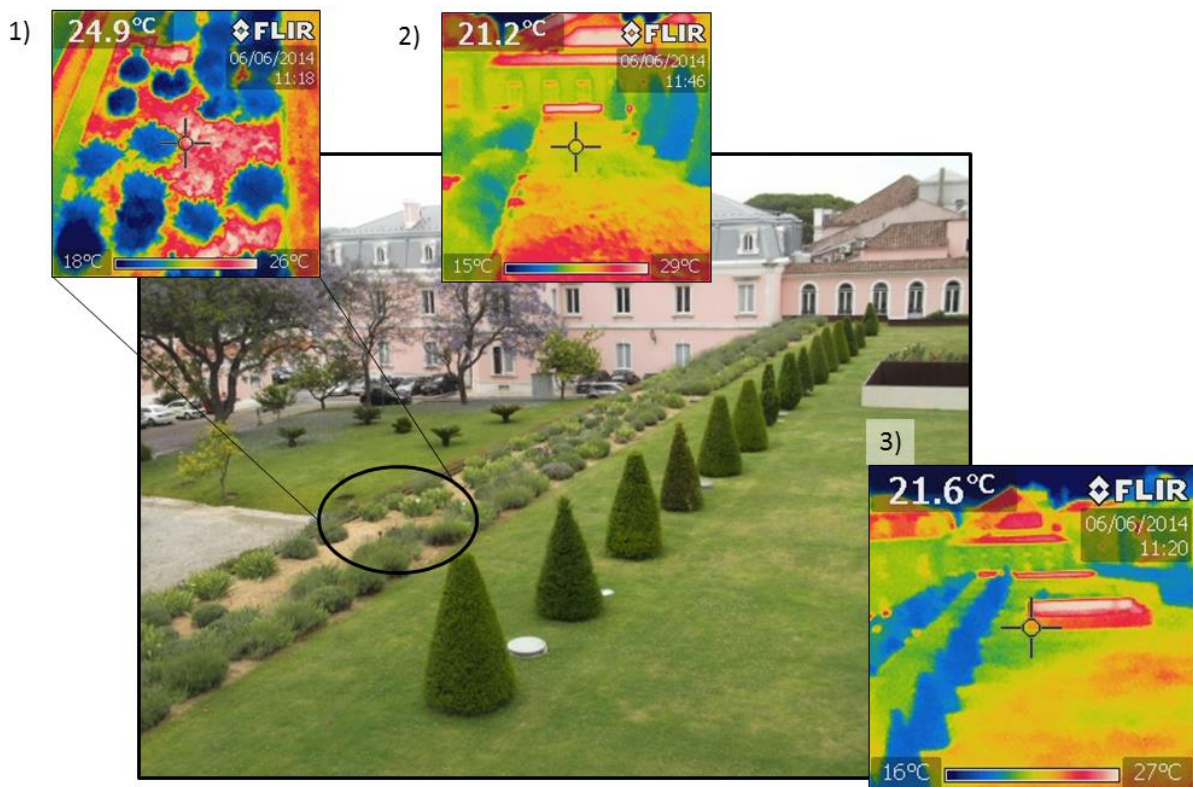


Fig. 93 – Cobertura ajardinada intensiva do bloco A do CDI, do Palácio de Belém, e fotografias termográficas da cobertura. 93-1) Fotografia termográfica de pormenor da cobertura, 93-2) Fotografia termográfica de pormenor da cobertura, 93-3) Fotografia termográfica geral da cobertura

Fonte: Autor

As fotografias 93-1) e 93-2) são de pormenores da cobertura e permitem observar as diferenças de temperatura entre a lavanda, os teixos e o relvado. A fotografia 93-3) apresenta um panorama geral da temperatura da cobertura ajardinada intensiva, sendo que da zona de cobertura ajardinada para a zona de jardim, em que não existe divisória e ambas apresentam relvado, apresentam a mesma temperatura.

5.1.2 - Jardim botânico de cobertura em Augustenborg, Suécia

Augustenborg, zona da cidade de Malmö, situada na Suécia, é o local onde se pode encontrar uma cobertura ajardinada que possui as importantes funções de contribuição para a investigação e a educação. De clima frio, típico dos países da Escandinávia, a zona de Augustenborg é conhecida por possuir o primeiro jardim botânico do mundo na cobertura de vários edifícios de um antigo complexo industrial. A planta, em perspetiva, pode ser observada na figura 94.



Fig. 94 – Planta perspectivada do *Augustenborg Botanical Roof Garden*, em Malmö

Fonte: http://www.spin-project.eu/downloads/14Scandinavian_Green_Roofs_InstituteLouise_Lundberg.pdf

É a maior cobertura ajardinada da região escandinava, contando atualmente com 9500m² de área. Demorou cerca de dois anos a ser construída e foi inaugurada em abril de 2001. Contribuindo, ao nível de vegetação, com várias espécies do género *Sedum*, uma vez que se trata de uma cobertura ajardinada do tipo extensivo, um dos principais objetivos do *Augustenborg Botanical Roof Garden* foi incentivar a utilização de vegetação nas coberturas dos edifícios. A figura 95 mostra a visualização aérea da cobertura ajardinada de Augustenborg.



Fig. 95 – Visualização aérea do *Augustenborg Botanical Roof Garden*, em Malmö

Fonte: Bing Maps (Adaptado)

Promovendo a biodiversidade vegetal, esta cobertura ajardinada faz parte de um projeto mais extenso, designado por Augustenborg Ecocity que pretende contribuir para o estabelecimento de uma cidade sustentável no longo prazo. Desta forma, a investigação é um dos importantes objetivos da cobertura ajardinada de Augustenborg, sendo que vários métodos inovadores ao nível de substrato e de drenagem têm sido testados no local. Também têm sido promovidas misturas de plantas *Sedum*, testando novas espécies. Algumas das plantas encontram-se catalogadas, existindo diversos locais onde são realizadas visitas guiadas e onde os visitantes podem observar a grande diversidade existente nas plantas suculentas. A figura 96 apresenta quatro fotografias do *Augustenborg Botanical Roof Garden*.



Fig. 96 – 96-1) Vista aérea de uma zona da cobertura ajardinada 96-2) Plantas *Sedum* catalogadas individualmente 96-3) Zona de visitas 96-4) Ninhos para a utilização de aves
Fonte: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=60>

Na fotografia 96-1) podemos observar uma das zonas da cobertura ajardinada de Augustenborg, permitindo ver a disposição em talhões da vegetação. Esses talhões encontram-se identificados por espécie, como é visível na fotografia 96-2), daí a atribuição do termo jardim botânico. A cobertura ajardinada permite a realização de visitas guiadas, possuindo algumas partes pavimentos com acesso pedonal, fotografia 96-3). Para além da promoção da biodiversidade vegetal, a biodiversidade animal também foi estimulada pela implementação de ninhos para aves. Os próprios ninhos apresentam uma pequena cobertura com vegetação, como se pode ver na fotografia 96-4).

Uma vez que se trata de uma cobertura ajardinada que tem como um dos principais focos a educação, é um exemplo que foi tido em consideração na proposta de cobertura ajardinada para o edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta.

5.2 - Condicionantes da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta

Como referido anteriormente no ponto 3.2. deste relatório de estágio, a elaboração de um projeto de uma cobertura ajardinada necessita de uma análise cuidada das características do local de implantação da cobertura ajardinada, pois estas irão ser determinantes para evitar erros e garantir que se fazem escolhas corretas.

Desta forma, as condicionantes de ordem arquitetónica, botânica, climática, instalações, uso, geográficas e ambiente para a cobertura ajardinada da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta, foram identificadas através da lista proveniente das “Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo – Cubiertas Verdes”, e podem ser conferidas na tabela 7.

Tabela 7 – Condicionantes da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta com base nas “Normas Tecnológicas de Jardinería y Paisajismo – Cubiertas Verdes”

Fonte: Autor

Arquitetónica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plantas da cobertura – Fornecidas, em formato DWG; ▪ Acesso à cobertura – Acesso à cobertura através da utilização de uma escada manual; ▪ Situação dos elementos estruturais da estrutura abaixo da cobertura – A impermeabilização poderá estar danificada em certos pontos. Existem saídas de água em toda a área da cobertura; ▪ Altura, dimensões e carga máxima admissível da cobertura – Altura: 3,7 m; Dimensão total: 980 m²; Carga máxima admissível: Valor não fornecido, mas dentro dos parâmetros necessários para receber uma cobertura ajardinada; Pendente de cobertura: 2% de inclinação.
Botânica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atendendo às características botânicas e fisiológicas das espécies, facilidade de colonização, combustibilidade e inflamabilidade e às espécies alergénicas, as seguintes espécies foram consideradas como as mais interessantes para o projeto de cobertura ajardinada: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Sedum acre</i>; • <i>Sedum album</i>; • <i>Sedum anglicum</i>; • <i>Sedum arenarium</i>; • <i>Sedum brevifolium</i>; • <i>Sedum forsterianum</i>; • <i>Sedum hirsutum</i>; • <i>Sedum rubrotinctum</i>; • <i>Sedum sexangulare</i>; • <i>Sedum spathulifolium</i>; • <i>Sedum spurium</i>; • <i>Sempervivum tectorum</i>.

Climática (dados fornecidos pela CMM)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clima - Mediterrânico com influências atlânticas; ▪ Microclima local - Pluviosidade média e distribuição: 1100 mm; 120 dias de precipitação/ano; Humidade relativa: Valores médios de 79%; Existência de nevoeiro: menos de 30 dias/ano, 110 dias de nebulosidade; ▪ Duração e frequência dos períodos de seca no verão: Frequentes, 2400 horas de insolação/ano; ▪ Temperaturas mínima e máxima - Mínima: -5,4 °C e Máxima: 40 °C; ▪ Ventos dominantes: Sul e sudeste.
Instalações	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abastecimento de água para rega – Não existente na cobertura, mas presente nos prados em anexo ao edifício; ▪ Outras instalações que passam pela cobertura – A cobertura possui saídas de ar que não interferem na instalação da cobertura ajardinada; ▪ Custos energéticos – Relacionados com a utilização diária do edifício.
Uso	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nível de utilização (manutenção, uso privado, uso público) – Atualmente a cobertura não é utilizada, com a cobertura ajardinada o uso será público; ▪ Acesso a peões ou veículos – Permitirá acesso a peões; ▪ Acesso a pessoas com mobilidade reduzida – Permitirá acesso a pessoas com mobilidade reduzida.
Geográficas (dados fornecidos pela CMM)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordenadas geográficas da localização do edifício – Coordenadas: 41º 15'52,15759"N e 8º 36'41,12114"W; Localização: Castelo da Maia; ▪ Topografia local – Zona pouco declivosa, Altitude da base do edifício: 85,6 m.
Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contaminação urbana – Considerada não significativa; ▪ Emissões (climatizadores, gases de combustão, etc.) – Considerada não significativa.

5.3 - Proposta de cobertura ajardinada

Com base nas informações recolhidas, presentes no relatório de estágio, durante o estágio realizado na Câmara Municipal da Maia, foi traçada uma proposta de uma cobertura ajardinada para o edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta. As plantas técnicas da proposta de intervenção no edifício podem ser consultadas nos anexos B presentes no final deste trabalho.

A área de intervenção no complexo de educação ambiental da Quinta da Gruta foi definida como sendo a cobertura do edifício da escola de educação ambiental e os vãos envidraçados presentes nas fachadas voltadas a nascente e a poente.

É, assim, proposta a remoção da atual cobertura do edifício, composta por lajes negras de ardósia. Com a retirada das lajes e da restante estrutura da atual cobertura fica uma altura de 0,25 m para a implementação da cobertura ajardinada. As lajes negras de ardósia poderão ter como destino a venda, já que se trata de um material de valor monetário considerável e que poderá ser reutilizado. A figura 97 é retirada do plano nº 2, de demolições, e mostra, a vermelho, a área da cobertura, do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta, a remover.

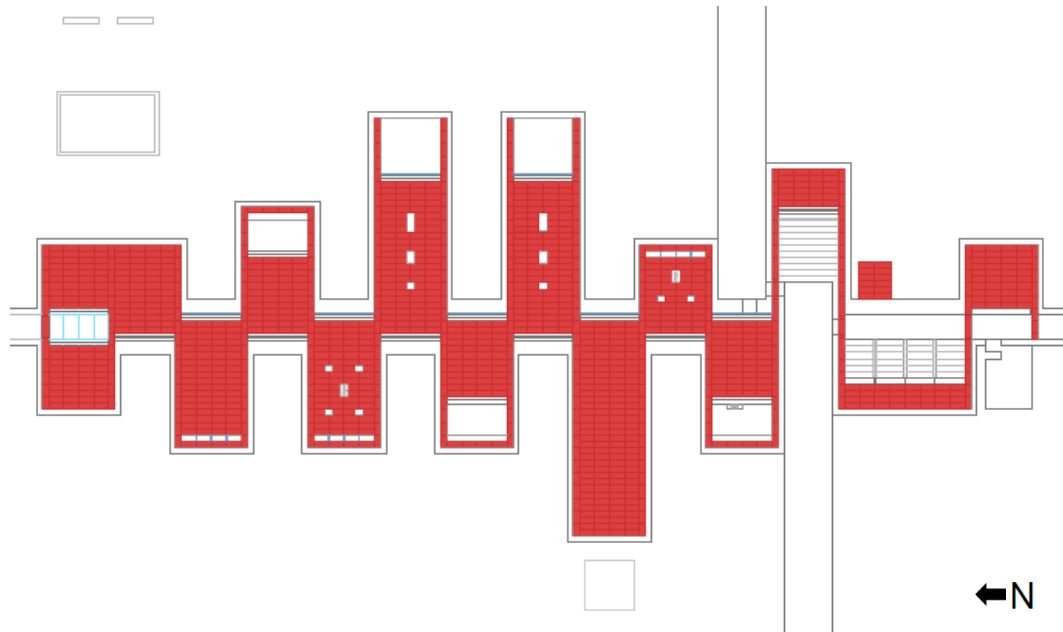


Fig. 97 – Área da cobertura do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta a remover

Fonte: Autor

A outra área intervencionada, os vãos envidraçados, foi considerada, juntamente com a cobertura, relevante no comportamento térmico do edifício. Para esta zona, a solução encontrada foi a plantação de uma videira (*Vitis vinifera*) junto aos vãos envidraçados e erguer, através da instalação de cabos de aço inox com 5,4 m de comprimento, uma pérgula com 2 metros de extensão. O edifício da escola de educação ambiental já conta na sua estrutura com zonas onde estão presentes plantas trepadeiras, como é possível visualizar nas áreas assinaladas pelas elipses a vermelho na figura 98, pelo que esta solução seria uma adaptação e desenvolvimento, de uma situação existente, em novos locais do edifício. A fotografia 98-1) mostra uma das trepadeiras, utilizadas com a função de ornamentação, presente num dos três pátios interiores do edifício. As fotografias 98-2) e 98-3) permitem observar as trepadeiras existentes nos segmentos a sul do edifício principal. Estas encontram-se

localizadas no exterior das boxes para animais e, durante o verão, são extremamente importantes para manter, no local, uma temperatura amena.

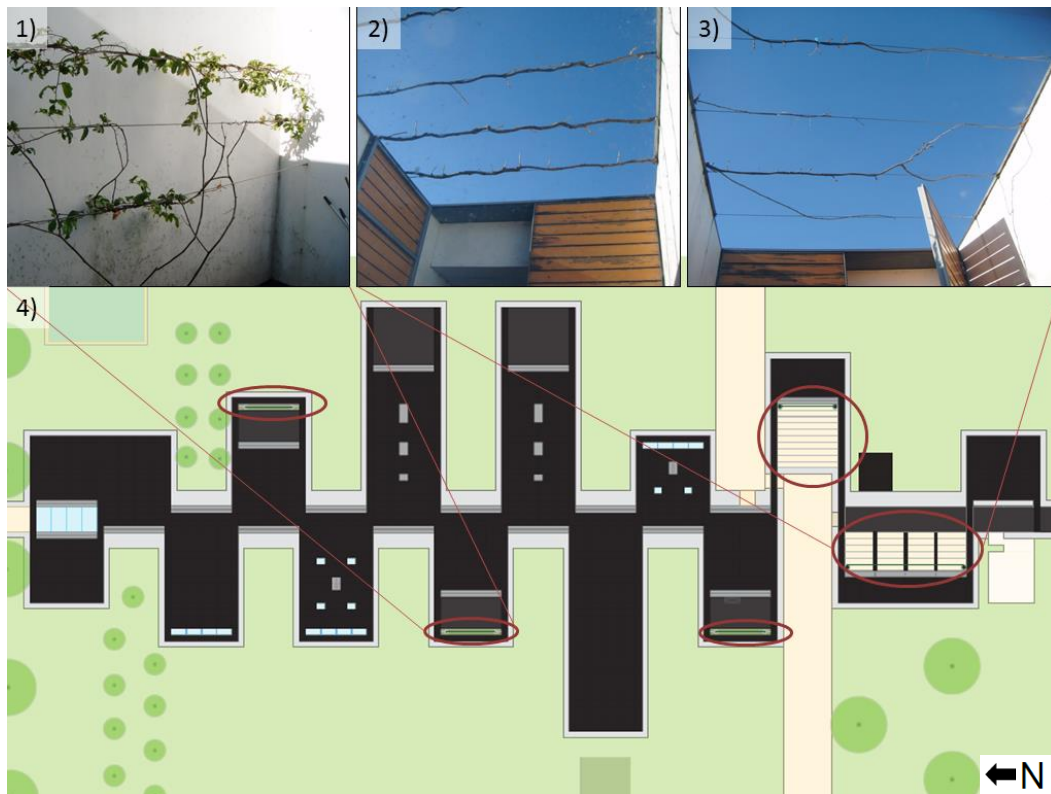


Fig. 98 – 98-1) Trepadeira do pátio interior da biblioteca 98-2) Trepadeira situada no segmento das boxes para os animais 98-3) Trepadeira situada no segmento das boxes para os animais 98-4) Planta da situação existente do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta

Fonte: Autor

De entre várias espécies de trepadeiras, a escolha de *Vitis vinifera* deveu-se às suas características fisiológicas. Para além de ser a espécie utilizada como pégula nos segmentos mais a sul, fotografias 98-2) e 98-3), está bem adaptada ao clima temperado do nosso país, de crescimento controlado e que não necessita de uma manutenção complexa. Para além das características mencionadas, o facto da *Vitis vinifera* pertencer ao grupo de plantas caducifólias, ou seja, de folha caduca, vai permitir nos meses mais frios, quando está sem folhas, a passagem dos raios solares aquecendo o edifício. Nos meses mais quentes, em que a espécie apresenta uma grande área foliar, irá proporcionar sombra. Assim, sempre que possível, o recurso a vegetação de folha caduca é uma das soluções ambientalmente mais eficaz quanto a proporcionar sombra.

Como pode ser observado na figura 99, retirada do plano de plantação de árvores e arbustos, para o edifício da escola de educação ambiental da Quinta da

Gruta foi proposto instalar uma pérgula revestida de videira em nove dos vãos envidraçados orientados a este e a oeste, assinalados pelas elipses cinzentas. A pérgula terá uma extensão de 2 m de largura, como pode ser visto no pormenor da figura 99.

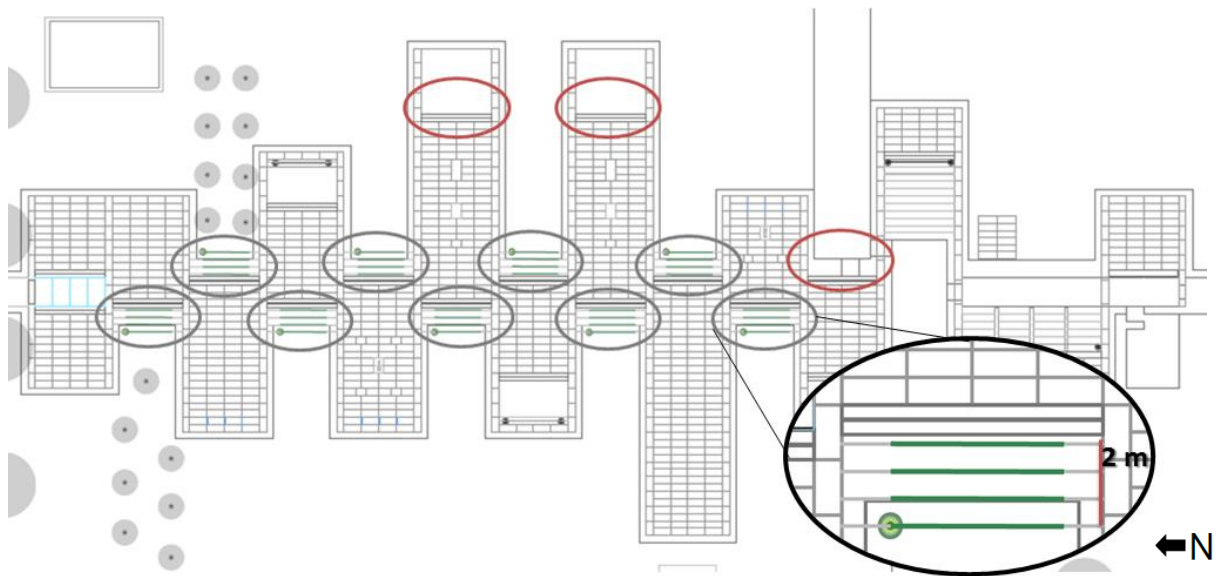


Fig. 99 – Locais de implementação da pérgula de videira no edifício da escola de educação ambiental

Fonte: Autor

As elipses a vermelho, na figura 99, assinalam os vãos envidraçados dos dois laboratórios e da entrada a sul do edifício. Nestes casos, como não existe solo nas proximidades, devem ser instalados nos vãos envidraçados, sombreadores, do tipo estores. Estores exteriores, que permitam controlar a passagem dos raios solares ao longo do ano, uma vez que os interiores podem contribuir para um aquecimento ainda maior do ambiente devido ao efeito de convecção (MOITA, 2010).

A plantação de *Vitis vinifera* irá, ainda, ser benéfica para o aumento da biodiversidade, atraindo espécies de insetos e aves. A mortalidade de pássaros que voam contra os vãos envidraçados do edifício é um dos problemas que pode ser amenizado com a implementação das pérgulas de videira. Na figura 100 é possível observar uma técnica bastante comum para evitar o choque de aves contra vidros. No entanto, na Quinta da Gruta parece não ser muito eficaz uma vez que continuam a aparecer sinais de embates violentos, como o aparecimento de aves inanimadas junto aos vidros.



Fig. 100 – Autocolantes em forma de aves, colados nos vãos envidraçados, tentam evitar choques de aves contra os vidros

Fonte: Autor

Os nove exemplares propostos da espécie *Vitis vinifera* são os únicos que constam do plano de plantação de árvores e arbustos. As restantes espécies a plantar estão presentes no plano de plantação de herbáceas e fazem parte da cobertura ajardinada proposta para o edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta.

A cobertura ajardinada proposta para o edifício da escola de educação ambiental terá uma área total de 856,3 m². O edifício principal é o que contribui com uma área maior, 721,6 m², e os restantes segmentos de menor dimensão, juntos, ocupam uma área superior a 130 m² (figura 101).

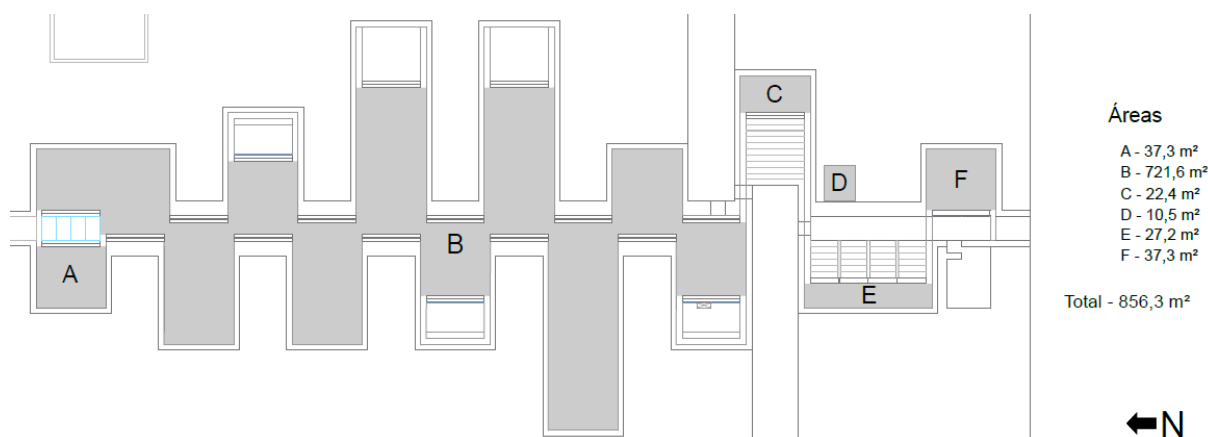


Fig. 101 – Plano indicativo de áreas da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta

Fonte: Autor

Para a proposta de uma cobertura ajardinada no edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta foi tida em consideração a atual atividade da escola. Pretendeu-se, assim, criar uma ligação da cobertura ao edifício permitindo que, a cobertura ajardinada, pudesse ser integrada nas visitas dos alunos ao complexo de educação ambiental. Por conseguinte, o conceito da proposta de cobertura ajardinada para a escola de educação ambiental da Quinta da Gruta passa pela criação de uma cobertura com inspiração nos jardins botânicos, reservando, ainda, uma zona para a estimulação da biodiversidade e várias áreas de experiência para analisar o comportamento de várias espécies do género *Sedum*.

Assim, o plano de plantação de herbáceas, para a cobertura ajardinada, encontra-se dividido em dois: um indicativo do tipo de plantação a executar e outro com as espécies pretendidas. O edifício principal contará com uma cobertura ajardinada contínua e o tipo de plantação será em tapete pré-cultivado. Os tapetes pré-cultivados permitem uma adaptação mais fácil das espécies e, dessa forma, a cobertura estará a funcionar em pleno logo após a instalação. Os cinco segmentos que não se encontram ligados ao edifício principal, segmentos A, C, D, E e F da figura 101, possuirão uma cobertura ajardinada modular. Estes cinco segmentos foram selecionados como as zonas ideais para testar vários componentes em espécies de *Sedum* pois, por não se encontrarem ligados ao edifício principal, caso alguma experiência não corra tão bem, não existe o risco de comprometer a eficiência energética do edifício pela cobertura. Como as espécies vegetais se irão encontrar distribuídas por módulos, nestes cinco segmentos, torna-se facilitado o trabalho de substituição de espécies, bastando para isso trocar os módulos por outros já cultivados. Nestes segmentos, os tipos de plantação testados serão através de

plantação por estacas, com pequenas partes retiradas a plantas *Sedum* e colocadas no substrato, por sementes e por exemplares plantados individualmente. A figura 102 mostra os vários tipos de plantação da cobertura ajardinada proposta que pode ser observada em maior pormenor no plano de plantação de herbáceas 4a, no anexo B.

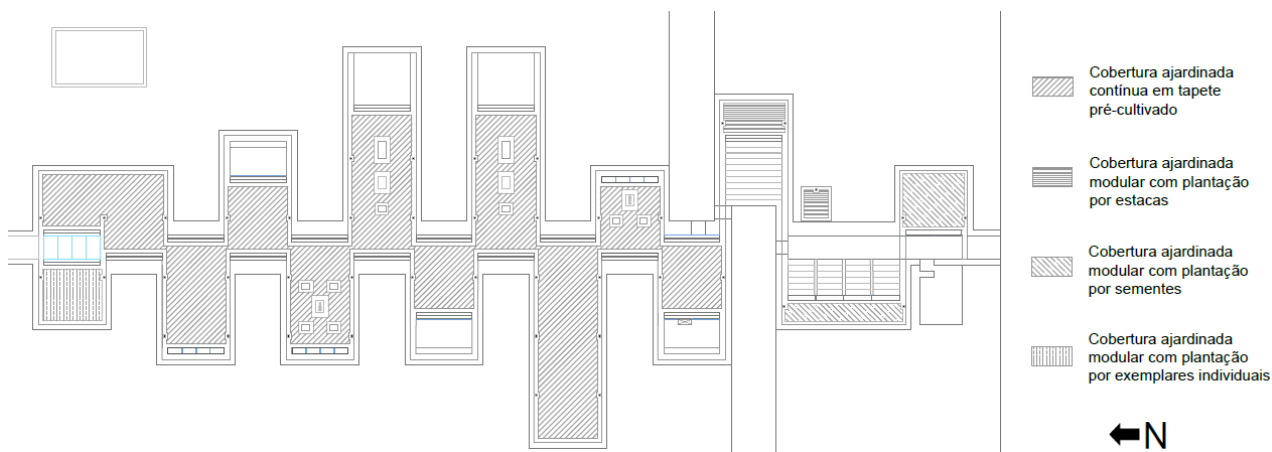


Fig. 102 – Tipo de plantação proposto para a cobertura ajardinada da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta

Fonte: Autor

Em termos de espécies selecionadas para a cobertura ajardinada a escolha recaiu, essencialmente, em espécies autóctones ou em espécies que se encontram bem adaptadas ao nosso país. Para os cinco segmentos definidos como zonas de teste não foi selecionada nenhuma espécie especificamente pois o objetivo é que a rotação de espécies seja feita duas vezes por ano, de forma a permitir analisar várias espécies. Para estes segmentos modulares a proveniência da espécie não deve ser decisiva e pode até ser um local preferencial para verificar a adaptação de uma dada espécie ao clima local. Como medidas de manutenção, foi estabelecido executar duas visitas técnicas por ano, para inspeção e limpeza do sistema de escoamento e drenagem e efetuar mudança de módulos, quando necessário.

Para o edifício principal foi designada a zona norte do edifício como área de implementação da biodiversidade. Para esta zona é proposta uma mistura de *Sedum acre* (Erva-cão; Erva-de-cão-maior; Uva-de-cão; Vermiculária), *Sedum album* (Arroz-dos-telhados; Pinhões-de-rato), *Sedum anglicum* (Vermicularia-Inglesa), *Sedum brevifolium* (Arroz-dos-muros), *Sedum forsterianum* (Arroz-das-paredes), *Sedum sediforme* (Erva-pinheira; Erva-pinheira-enxuta) e *Sempervivum tectorum* (Barba-do-diabo; Saião-curto; Sempre-vivas; Sempre-vivas-dos-telhados). As espécies do género *Sedum* são espécies facilmente encontradas na zona ecológica onde se insere o complexo de educação ambiental e têm uma floração característica capaz de atrair

insetos e aves. A espécie *Sempervivum tectorum*, é uma planta da família Crassulácea, de folha perene e originária da Europa e é a única espécie proposta para a cobertura que não pertence ao género *Sedum*. Aparece espontaneamente em telhados devolutos do nosso país e é uma espécie com uma floração capaz de atrair diversos insetos. Como medidas de manutenção, é solicitado executar duas visitas técnicas por ano, para inspeção e limpeza do sistema de escoamento e drenagem, utilização anual de fertilizante, remoção semestral de espécies infestantes e replantar vegetação, quando necessário, em zonas em falta. Para esta zona é, ainda, proposta a implementação de ninhos de madeira para o estabelecimento de algumas espécies de aves na cobertura. Desta forma, para além da biodiversidade vegetal, foi pretendido preparar a cobertura para a presença de insetos e aves. Para a restante cobertura do edifício, o facto de cada fração da escola se encontrar quase como que separada do edifício principal, sendo apenas unidas pelo corredor central, foi aproveitado para estabelecer uma espécie por fração, estabelecendo uma cor por sala. As espécies designadas foram: *Sedum brevifolium* (Arroz-dos-muros), *Sedum arenarium* (-), *Sedum album* (Arroz-dos-telhados; Pinhões-de-rato), *Sedum acre* (Erva-cão; Erva-de-cão-maior; Uva-de-cão; Vermiculária), *Sedum anglicum* (Vermicularia-Inglesa) e *Sedum hirsutum* (Uva-de-gato). Estas espécies são todas encontradas na região e o proposto para manutenção do local foi efetuar duas visitas técnicas por ano, para inspeção e limpeza do sistema de escoamento e drenagem, utilização anual de fertilizante, remoção trimensal de espécies não pretendidas e replantar vegetação, quando necessário, em zonas em falta. A identificação exata, do local de plantação das espécies, pode ser observada em pormenor no plano de plantação de herbáceas 4b, presente no anexo B do relatório de estágio.

Para a cobertura ajardinada da escola de educação ambiental é proposto para toda a área da cobertura um plano de rega que consiste em rega por sistema gota-a-gota, com tubo enterrado em linhas de 0,30 a 0,30 m. Um “Drip line” com espaçamento de gotejadores de 0,30 m e débito do gotejador de 2,5 l/hora. Ao contrário dos países do norte da Europa, onde é aconselhado o uso de rega apenas numa fase inicial, para o clima português onde os verões são caracterizados por serem quentes e secos, deve ser utilizado um sistema de rega permanente que deve ser ativo em períodos de seca. Esses períodos de carência e de stress hídrico na vegetação podem ser monitorados através de fotografias pelo método termográfico.

Para a cobertura ajardinada contínua é proposta uma estrutura como a que é visível no pormenor construtivo da figura 103. Tendo por cima a vegetação, o

substrato técnico deverá ter 0,08 m de espessura, seguido pela manta geotêxtil e pelo sistema de drenagem que terá uma altura de 0,025 m. Depois a camada de proteção e a tela impermeabilizante e anti-raiz deverá prolongar-se até ao extremo da cobertura, onde são presas por um suporte técnico. O aglomerado de cortiça expandida de 0,04 m fará o isolamento da cobertura.

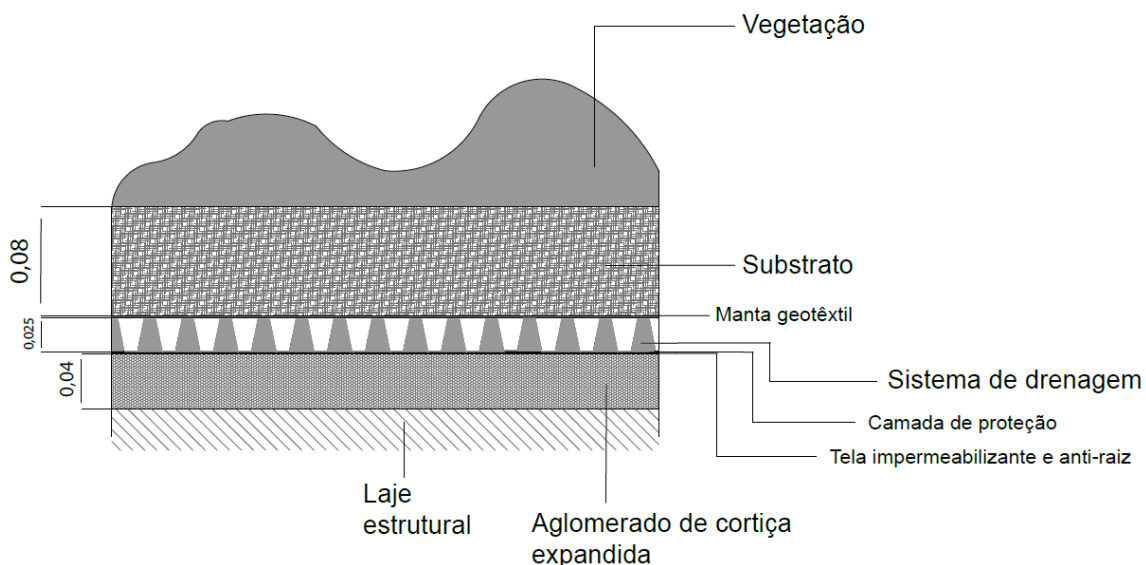


Fig. 103 – Pormenor construtivo da cobertura ajardinada contínua da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta

Fonte: Autor

Já para a cobertura ajardinada modular é proposta uma estrutura como a que pode ser observada no pormenor construtivo da figura 104. A vegetação encontra-se no topo, sendo que o substrato técnico, a manta geotêxtil e o sistema de drenagem são incorporados nos módulos instalados. Os módulos utilizados são de formato quadrangular de 0,53 por 0,53 m e têm uma altura de 0,1 m. Na parte inferior, a camada de proteção e a tela impermeabilizante e anti-raiz deverá prolongar-se, como na cobertura ajardinada contínua, até ao extremo da cobertura, onde são presas por um suporte técnico. O aglomerado de cortiça expandida de 0,04 m fará, também, o isolamento da cobertura.

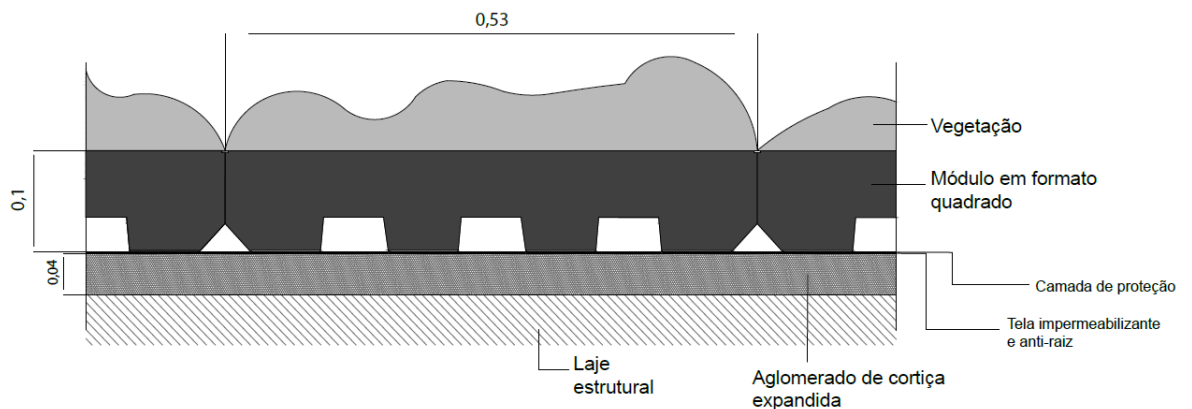


Fig. 104 – Pormenor construtivo da cobertura ajardinada modular da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta
Fonte: Autor

Na cobertura ajardinada proposta foi estabelecida uma margem de segurança entre o extremo da cobertura, designada por platibanda, e a zona de vegetação. Esta margem é composta por gravilha rolada e estabelece uma distância de 0,4 m. As figuras 105 e 106 permitem ver o pormenor construtivo das margens de segurança para a cobertura ajardinada contínua e modular, que podem ser observadas com maior detalhe nos pormenores construtivos em anexo.

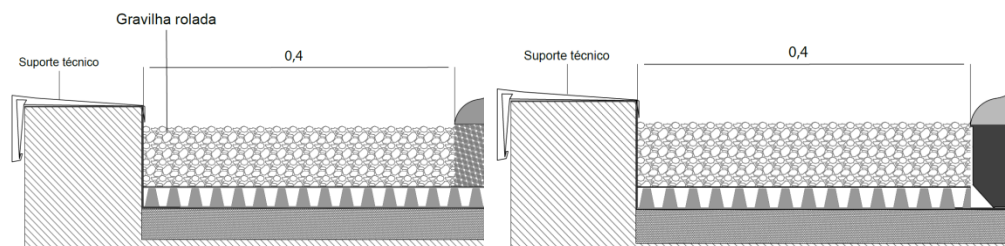


Fig. 105 e 106 – Pormenor construtivo da cobertura ajardinada contínua e modular, respetivamente
Fonte: Autor

Como referido anteriormente, foi pretendido estabelecer na proposta da cobertura ajardinada para o edifício da escola de educação ambiental a integração da cobertura nas visitas dos alunos ao edifício. Desta forma, juntamente com a cobertura ajardinada foi proposta a instalação de um passadiço metálico, na cobertura, permitindo a realização de visitas pedagógicas. O passadiço, que terá cerca de 50 m² de área e estará suspenso a 0,25 m acima do substrato de forma a permitir o crescimento da vegetação abaixo da estrutura metálica, foi projetado para acompanhar uma parte do corredor central e, por essa razão, possui como largura mínima um metro. A entrada para o passadiço deverá ser feita junto à entrada a sul da escola, assinalada na figura 107 pela elipse a azul, pelo que a circulação no passadiço é aconselhado que se realize de sul para norte. Para o acesso à cobertura é

pretendida a instalação de duas escadarias em formato caracol e para o acesso a utilizadores de mobilidade condicionada, a instalação de dois elevadores adaptados com 1,00 m de largura e 1,50 m de comprimento. Os utilizadores com mobilidade condicionada poderão ficar situados nas zonas de estadia, com maior largura nos extremos do passadiço metálico, já que, a largura do corredor de 1,00 m, não se encontra dentro do limite mínimo estabelecido pelo decreto de lei 163/2006, de 1,20 m de largura para a circulação livre em corredores, não sendo possível aumentar a largura do passadiço para mais de 1,00 m pois excederia os limites da cobertura do edifício acabando o passadiço por perder a estabilidade indispensável. Ao longo do passadiço as espécies encontram-se identificadas e será possível observar, com uma distância de segurança, a zona mais recatada de biodiversidade, a norte do edifício. Uma maquete ilustrativa da estrutura da cobertura ajardinada poderá, ainda, ser instalada à entrada como demonstração. O passadiço deverá ter, na sua estrutura, todas as medidas de segurança necessárias à utilização por crianças, com idade mínima de cinco anos.

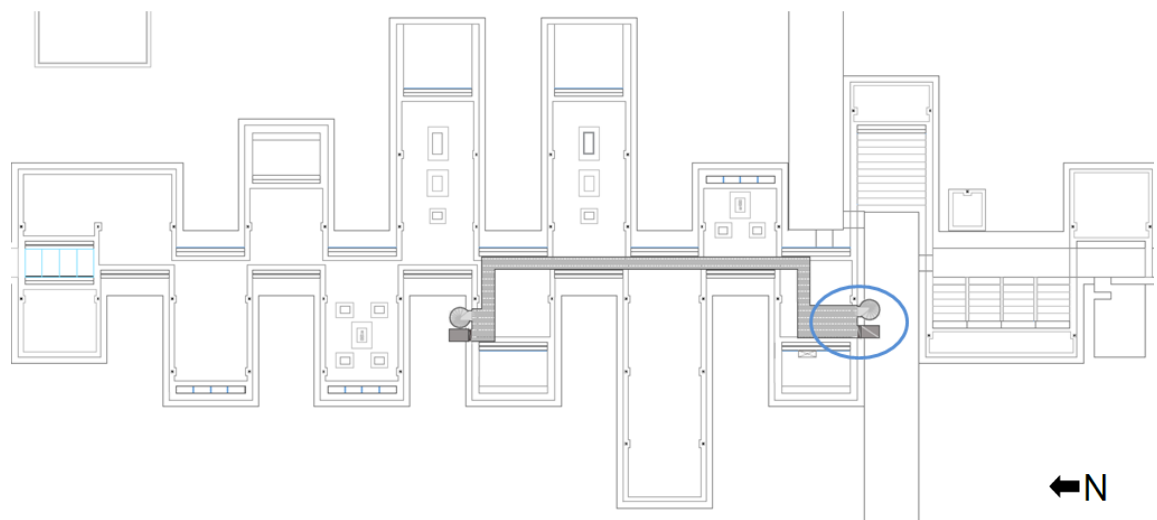


Fig. 107 – Passadiço metálico proposto para a cobertura da escola de educação ambiental

Fonte: Autor

A proposta de implementação da cobertura ajardinada e das pérgulas de videira, para a escola de educação ambiental da Quinta da Gruta, espera proporcionar, para além da melhoria no desempenho térmico, a valorização do edifício e da sua envolvente. A figura 108 é retirada no plano geral da proposta para o Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta.



Fig. 108 – Plano geral da proposta para o Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta

Fonte: Autor

Para uma cobertura ajardinada extensiva como a proposta, com variante contínua e modular, o preço de instalação da cobertura poderá ser cerca de 45 €/m², sem contabilizar variantes como a remoção da atual cobertura, o passadiço metálico e as pérgulas.

5.4 - Quantificação de benefícios

Como já referido no ponto 2.7 deste relatório de estágio, os benefícios da aplicação de uma cobertura ajardinada podem ser identificados a larga ou pequena escala. Naturalmente, para a proposta da cobertura ajardinada do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta, a quantificação de benefícios vai ser feita a uma pequena escala, tendo em consideração todas as alterações levadas a cabo no complexo de educação ambiental. Os benefícios identificados são de ordem ambiental, económica e social.

5.4.1 - Benefícios Ambientais

5.4.1.1 - Biodiversidade

A instalação de uma cobertura ajardinada, e a implementação de pérgulas de videira, irão permitir ao edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta beneficiar da biodiversidade proporcionada por estas conversões.

Para além da biodiversidade vegetal, conseguida pela introdução de novas espécies no jardim e na cobertura, novas espécies de aves e insetos instalar-se-ão atraídas pelo alimento ou repouso proporcionado. As coberturas ajardinadas são consideradas como *habitats* alternativos para estas espécies de animais que beneficiarão destas novas áreas “vivas”. Algumas espécies de répteis como *Podarcis hispanica* (Lagartixa-ibérica) é provável que apareçam na cobertura. No entanto, aves mais habituadas ao contacto humano como o *Turdus merula* (Melro-preto), *Passer domesticus* (Pardal-doméstico), *Columba livia* (Pombo-comum) e, nos meses quentes, *Delichon urbica* (Andorinha-dos-beirais), deverão ser mais frequentes. Várias espécies de insetos como borboletas e, especialmente, abelhas serão atraídas pela floração das espécies de *Sedum*. Para além da estimulação da biodiversidade, a contenção de choques entre aves e os vãos envidraçados, pela instalação de pérgulas, acaba por ser um benefício a evidenciar.

5.4.2 - Benefícios Económicos

5.4.2.1 - Eficiência energética

A implementação da cobertura ajardinada no edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta fará com que a temperatura da cobertura diminua consideravelmente, durante os meses de verão. Como é possível verificar na figura 85, uma cobertura ajardinada apresenta um aumento de temperatura bastante inferior relativamente a outros materiais, sendo este valor ainda mais significativo quando se trata de materiais de cor escura, como é o caso das lajes negras de ardósia que se encontram atualmente na cobertura do edifício. A instalação, como isolador, do aglomerado de cortiça expandida fará com que a temperatura da cobertura não influencie consideravelmente a temperatura interior, servindo inclusive de tampão nos meses de inverno, para evitar o fluxo de calor do interior para o exterior do edifício.

A colocação de pérgulas de videira nos vãos envidraçados voltados a nascente e a poente farão com que a temperatura, durante os meses quentes de verão, não influencie criticamente a temperatura interior, beneficiando da sombra gerada. Isto, sem hipotecar o aquecimento durante os meses de inverno, em que a ramada sem folhas permite a passagem dos raios solares.

5.4.3 - Benefícios Sociais

5.4.3.1 - Valorização estética

Como já referido anteriormente, a implementação de vegetação num edifício, regra geral, aumenta o seu valor. Valor económico, mas também estético. No caso do Complexo de Educação Ambiental da Quinta da Gruta, como se trata de um espaço público, a valorização relevante no edifício da escola de educação ambiental traduz-se numa valorização estética. Esta valorização permite, ainda, aumentar a capacidade pedagógica de um espaço de excelência na educação, contribuindo para explorar e dar a conhecer as vantagens que as coberturas ajardinadas podem proporcionar. A realização de eventos como formações, para alunos ou técnicos municipais, sobre a temática das coberturas ajardinadas, poderá ser uma mais-valia aproveitando um espaço de excelência para o efeito.

6 – Conclusão

Apesar de já não ser uma tecnologia muito recente, como se viu na perspetiva histórica apresentada, as coberturas ajardinadas ainda continuam a ser encaradas com alguma desconfiança em Portugal. Isto deve-se, particularmente, à falta de conhecimento técnico, sobre as coberturas ajardinadas, por parte de alguns profissionais ligados à área da construção. Esta falta de conhecimento é legítima pois, o sector da construção nacional, para além de não dispor da tecnologia das coberturas com vegetação integrada, como acontece em países como a Alemanha, também tem poucos recursos bibliográficos com casos de estudos destas coberturas em Portugal. Assim se compreende que se continue a verificar, no nosso país, uma grande falta de aproveitamento dos benefícios que este tipo de coberturas poderiam proporcionar, tanto ao edifício, como ao próprio ambiente urbano.

A realização deste trabalho teve por base uma revisão bibliográfica alargada que permitiu sintetizar aquilo que as coberturas ajardinadas foram no passado e aquilo que são no presente, nomeadamente ao nível da estrutura atual de uma cobertura ajardinada e da tecnologia disponível no mercado. O caso concreto, do edifício da escola de educação ambiental da Quinta da Gruta foi um desafio aliciante, pelo conceito ecológico existente na escola e, sobretudo, porque poderia ser aproveitado, pedagogicamente, com a implementação da cobertura ajardinada, para transmitir aos mais novos o conhecimento desta tecnologia. A requalificação do edifício da escola de educação ambiental irá permitir uma melhoria substancial das condições existentes, essencialmente ao nível do conforto térmico nos meses em que as temperaturas se encontram mais elevadas. No entanto, nos meses de inverno o contributo da cobertura ajardinada é mais limitado, atendendo a todo o contexto identificado. Assim, apostar num método de aquecimento mais ecológico e menos dispendioso do que o atual sistema de piso radiante torna-se indispensável. A tecnologia do aquecimento de edifícios através da energia geotérmica pode ser uma das soluções a ser explorada para o edifício da escola de educação ambiental que apresenta temperaturas muito baixas nos meses de inverno, como ficou demonstrado pelas medições efetuadas.

A procura de materiais mais ecológicos, para integrar a estrutura das coberturas ajardinadas, deverá ser um imperativo futuro. No século XXI, numa altura em que cada vez se expressa uma maior preocupação com as alterações climáticas e as suas consequências, as coberturas ajardinadas apresentam-se como uma solução viável,

podendo desempenhar um papel chave na mitigação destas alterações. A utilização de vegetação como material de construção deve ser encarada cada vez mais como uma alternativa viável, eficaz e ecológica.

Referências bibliográficas

- Akbari, H., & Konopacki, S. (2004). Energy effects of heat-island reduction strategies in Toronto, Canada. *Energy*.
- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*.
- Andrade, N. C. (2007) - *Desempenho térmico de cobertura verde utilizando a grama Brachiaria humidicola na cidade de São Carlos-SP*. Universidade Federal de São Carlos.
- Bass, B., R. Stull, S. Krayenjoff & A. Martilli. (2002). *Modelling the impact of green roof infrastructure on the urban heat island in Toronto*. Green Roofs Infrastructure Monitor 4.
- Bianchini, F., & Hewage, K. (2012). How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. *Building and Environment*.
- Breuning, J. & Yanders, A. (2008). *Introduction to the FLL Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing*. Green Roofing Guideline. Maryland.
- Butler, C., Butler, E., & Orians, C. M. (2012). Native plant enthusiasm reaches new heights: Perceptions, evidence, and the future of green roofs. *Urban Forestry and Urban Greening*.
- Carter, T., & Fowler, L. (2008). Establishing green roof infrastructure through environmental policy instruments. *Environmental Management*.
- Cook-Patton, S. C., & Bauerle, T. L. (2012). Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: A literature review. *Journal of Environmental Management*.
- Correa, C. B. (2001). - *Análisis de la Viabilidad y Comportamiento Energético de la Cubierta Plana Ecológica*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Costa, L. M. L. (2010) - *Espaços Verdes Sobre Cobertura, Uma Abordagem Estética e Ética*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Darling, E.. (2000) *Le Corbusier*. São Paulo: Cosac & Naif Edições
- Emilsson, T. (2008). Vegetation development on extensive vegetated green roofs: Influence of substrate composition, establishment method and species mix. *Ecological Engineering*.

- Farrell, C., Mitchell, R. E., Szota, C., Rayner, J. P., & Williams, N. S. G. (2012). Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence and substrate. *Ecological Engineering*.
- Feng, C., Meng, Q., & Zhang, Y. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings*.
- Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L. G., & Principi, P. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*.
- Fishburn, D. C. (2004). *Practical considerations on design and installations of green roofs: The waterproofing challenge*.
- FLL. (2008). *Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing - Green Roofing Guideline*. Germany : Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- Francis, R. A., & Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management*.
- Getter, K. L., Bradley Rowe, D., & Cregg, B. M. (2009). Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry and Urban Greening*.
- Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. *HortScience*.
- Goddard, M. A., Dougill, A. J., & Benton, T. G. (2010). Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology and Evolution*.
- Gonçalves, H. e Graça, J. M. (2004) - *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa: Tipografia Peres
- Grácio, J., Gandini, A., Barros, A., Velosa, A., Pereira, A., Lopes, C., Esteves, G., Girão, J., Trindade, T., Ferreira, V., Correia, C., & Silva, L.. (2006). *Associação para o desenvolvimento da Casa do Futuro - Sub-Projectos de Revestimentos*. Aveiro : s.n.
- Grant, G. *et al.*. (2003). Green Roofs, their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. London: Ecoschemes.
- Heneine, M. C. A. S.. (2008) Cobertura Verde. *Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais*, Belo Horizonte.
- Henry, A., & Frascaria-Lacoste, N. (2012). The green roof dilemma - Discussion of Francis and Lorimer (2011). *Journal of Environmental Management*.
- INETI (2007). *Relatório da Auditoria ao Palácio de Belém*. Lisboa.

- Klinkenborg, V. (2009). Por Cima das Ruas. *National Geographic Portugal*.
- Kohler, M. (2003) *Plant survival research and biodiversity: lessons from Europe*. Greening Rooftops for Sustainable Communities. Chicago.
- Lawlor, Gail, et al. (2006). *A Resource Manual for Municipal Policy Makers*. Canada : s.n.
- Liu, K., & Baskaran, B. (2003). Thermal performance of green roofs through field evaluation. In *Proceedings of the First Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*.
- MacIvor, J. S., & Lundholm, J. (2011). Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecological Engineering*.
- Magalhães, M. R. (2001) - *A Arquitectura Paisagista: morfologia e complexidade*. Lisboa: Editorial Estampa
- Metselaar, K. (2012). Water retention and evapotranspiration of green roofs and possible natural vegetation types. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Morais, C. e Roriz, M. (2003) - *Comparação entre os desempenhos térmicos de cobertura ajardinada e laje comum*. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos.
- Minke, G. (2003). *Techos verdes, planificación, ejecución, consejo prácticos*. Montevideo: Fin de Siglo.
- Moita, F. (2010). *Energia Solar Passiva* (p. 223). Lisboa: Argumentum.
- NTJ 11c. (2012). *Normas Tecnológicas de Jardineria y Paisajismo*
- Obrndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., ... Rowe, B. (2007). Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*.
- Osmundson, T. (1999). *Roof Gardens: History, Design and Construction*. New York: W. W. Norton & Company.
- Palha, P. (2011). Curso Jardins em Cobertura. *Coberturas Extensivas*. Estoril: Neoturf
- Pereira, G. (2009). A Quinta Fachada. *National Geographic Portugal*.
- Peck, S. W., Callaghan, C., Kuhn, M. E., & Bass, B. (1999). *Greenbacks from green roofs: Forging a new industry in Canada status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion*. *Environment*.
- Rohrbach, J. (2004) *The Ancient World, Adonis And New Departures*.
- Rowe, D. B. (2011). Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution*.

Rusell, V. L. (2010). *The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance. Landscape Architecture.*

Santamouris, M. (2014). Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy.*

Snodgrass, E. C., & Snodgrass, L. L. (2006). *Green Roof Plants: A Resource and Planting Guide. Landscape Architecture.*

Varela, A. F.. (2011). *A Utilização de Revestimentos de Vegetação Intensivos e Extensivos em Projecto de Arquitectura Paisagista em Cobertura.* Lisboa: Instituto Superior de Agronomia - UTL.

Wells, M., Grant, G.. (2004) Biodiverse Vegetated Architecture Worldwide: Status, Research and Advances. Proceedings of IEEM conference on 'sustainable new housing and major developments: rising to the ecological challenges.

Zinzi, M., & Agnoli, S. (2012). Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. *In Energy and Buildings.*

Recursos Web

European Federation of Green Roof Associations. Disponível em: <URL: <http://www.efb-greenroof.eu/index.html>>. Consultado em outubro de 2013

Flora Digital de Portugal - Jardim Botânico da UTAD. Disponível em: <URL: <http://jb.utad.pt/flora>>. Consultado em março de 2014

Flora-on. Disponível em: <URL: <http://www.flora-on.pt>>. Consultado em abril de 2014

Greenroofs. Disponível em: <URL: <http://www.greenroofs.org>>. Consultado em dezembro de 2013

Greenroofs. Disponível em: <URL: <http://www.greenroofs.com>>. Consultado em novembro de 2013

IGRA - International Green Roof Association. Disponível em: <URL: <http://www.igra-world.com>>. Consultado em fevereiro de 2014

Neoturf. Disponível em: <URL: <http://www.neoturf.pt/pt>>. Consultado em novembro de 2013

Quinta da Gruta. Disponível em: <URL: <http://www.quintadagruta.cm-maia.pt>>.
Consultado em outubro de 2013

ZinCo. Disponível em: <URL: <http://www.zinco-greenroof.com/EN/index.php>>.
Consultado em março de 2014

Referências Bibliográficas de Figuras

Figura 1 – <URL: <http://www.un.org/en/development/desa/population> >. Consultado em outubro de 2013.

Figura 2 – <URL: <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov> >. Consultado em outubro de 2013.

Figura 3 – <URL: <http://lisboaemuitagente.blogspot.pt/2010/12/mais-um-jardim-em-lisboa-e-um-segredo.html> >. Consultado em novembro de 2013.

Figura 4 – <URL: <http://en.wahooart.com> >. Consultado em novembro de 2013.

Figuras 5 e 6 – <URL: <http://ospitiweb.indire.it/~copc0001/pompei/la-villa-romana.htm> >. Consultado em novembro de 2013 e <URL: <http://www.flickr.com/photos/spirosk/6563735031> >. Consultado em novembro de 2013

Figura 7 – <URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Torvtak_3.png >. Consultado em novembro de 2013

Figuras 8 e 9 – <URL: <http://www.standout-cabin-designs.com/green-roof-design.html> >. Consultado em novembro de 2013 e <URL: <http://lewisandclarkscenicbyway.com/new-tricks-from-old-sod> >. Consultado em novembro de 2013

Figuras 10 e 11 – <URL: <http://www.kuriositas.com/2013/01/torre-guinigi-tower-with-oak-trees-on.html> >. Consultado em novembro de 2013 e <URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Torre_guinigi_10.JPG >. Consultado em novembro de 2013

Figuras 12 e 13 – <URL: <http://bdparis.fr/regioes-francesas/monte-saint-michel> >. Consultado em novembro de 2013 e <URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/45/Normandie_Manche_Mont1_tango7174.jpg >. Consultado em novembro de 2013

Figuras 14 e 15 – <URL: http://www.affittacamerelavite.it/Palazzo_Piccolomini_Pienza.htm >. Consultado em novembro de 2013 e <URL: http://www.gardenvisit.com/garden/palazzo_piccolomini_garden >. Consultado em novembro de 2013

Figuras 16 e 17 – Osmundson, T. (1999). *Roof Gardens: History, Design and Construction*. New York: W. W. Norton & Company. e <URL:

cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/04/90/96/09/state-hermitage-museum.jpg >.

Consultado em dezembro de 2013

Figuras 18 e 19 – <URL: <http://www.atlasobscura.com/articles/concrete-o-rama-concrete-in-atlas-obscura> >. Consultado em dezembro de 2013 e <URL: http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Paris_16_-_mmeuble_25bis_rue_Benjamin_Franklin_-1.JPG >. Consultado em dezembro de 2013

Figura 20 – <URL: <http://www.kripahle-online.de/unterricht/wp-content/uploads/2011/01/mietskaserne.jpg> >. Consultado em dezembro de 2013

Figuras 21 e 22 – <URL: <http://daytoninmanhattan.blogspot.pt/2013/06/the-lost-1882-casino-theatre-39th.html> >. Consultado em janeiro de 2014 e Osmundson, T. (1999). *Roof Gardens: History, Design and Construction*. New York: W. W. Norton & Company.

Figuras 23 e 24 – <URL: <http://gisaweb.cm-porto.pt/units-of-description/documents/49730/> >. Consultado em janeiro de 2014 e Andrade, S., Liberal, A. M. & Pereira, R. (2010). *Casas da Música no Porto*. Porto: Fundação Casa da Música.

Figura 25 – <URL: <http://www.steinerag.com/flw/Artifact%20Pages/PhRtS180.htm> >. Consultado em janeiro de 2014

Figuras 26 e 27 – <URL: <http://simbiosisgroup.net/2346/le-corbusier-villa-savoye-lego> >. Consultado em janeiro de 2014 e <URL: <http://montakasa.wordpress.com/2013/11/18/villa-savoye-le-corbusier/> >. Consultado em fevereiro de 2014

Figuras 28, 29 e 30 – <URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rockefeller_Center_Rooftop_Gardens_2_by_David_Shankbone.JPG >. Consultado em fevereiro de 2014 e <URL: <http://thevintagenotebook.com/an-evening-on-a-roof/> >. Consultado em fevereiro de 2014

Figura 31 – <URL: http://www.francisfrith.com/guildford/photos/the-roof-garden-c1960_g65128/#utmcsr=google.pt&utmcmd=referral&utmccn=google.pt >. Consultado em fevereiro de 2014

Figuras 32 e 33 – <URL: http://3.bp.blogspot.com/-GMTuhHmZnpU/T7_XpSokkQI/AAAAAAAAAArc/TEPENa2DKt8/s1600/hospital_loures-beatriz_angelo3_Lusa.jpg >. Consultado em fevereiro de 2014 e <URL:

<http://payload142.cargocollective.com/1/9/302712/5152978/247.jpg> >. Consultado em março de 2014

Figura 34 – Autor

Figura 35 – Osmundson, T. (1999). *Roof Gardens: History, Design and Construction*. New York: W. W. Norton & Company.

Figura 36 – <URL:

http://marabo2012.files.wordpress.com/2013/06/imagem_anjo_clerigos.jpg >. Consultado em março de 2014

Figura 37 – <URL: <http://www.neoturf.pt/pt/portefolio/project/vila-nova-de-gaia> >. Consultado em março de 2014

Figura 38 – Fotografia de H. Pertlwieser (2013)

Figura 39 – <URL: <http://www.greenroofs.com/blog/2010/03/05/ecorooft-portland-inspiring-fun-free/> >. Consultado em março de 2014

Figura 40 – <URL: http://www.urbanhabitats.org/v04n01/invertebrates_fig2.html >. Consultado em abril de 2014

Figura 41 – <URL: http://si.wsj.net/public/resources/images/EV-AA046A_ROOF_NS_20081003164014.gif >. Consultado em abril de 2014

Figura 42 – <URL: <http://www.archiexpo.com/prod/zinco/fall-protection-anchor-systems-green-roofs-66390-481807.html> >. Consultado em abril de 2014

Figura 43 – <URL: <http://www.cleanairpartnership.org/files/urbanheat island.jpg> >. Consultado em abril de 2014

Figura 44 – Czemieli Berndtsson, J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*.

Figura 45 – <URL: <http://upwaysystems.com> >. Consultado em abril de 2014

Figura 46 – <URL: http://designmeans.com/work/illustration/green_roof.html >. Consultado em abril de 2014

Figuras 47 e 48 – <URL: <http://www.sedumphotos.net> >. Consultado em abril de 2014

Figura 49 – <URL: <http://www.scapetime.de/media/img/products/157/floradrain.jpg> >. Consultado em maio de 2014

Figura 50 – Autor

Figuras 51 e 52 – <URL: <http://ravenind.com/wp/wp-content/uploads/2014/04/LiveRoofFullyGrownModules.jpg> >. Consultado em maio de 2014 e <URL: <http://cdn.archinect.net/images/1200x/xr/xrduxpo3294v4bma.jpg> >. Consultado em abril de 2014

Figura 53 – <URL: http://www.greenroofs.com/projects/pa_dep/pa_dep1.jpg >. Consultado em maio de 2014

Figura 54 – <URL: <http://www.upwaysystems.com> >. Consultado em maio de 2014

Figura 55 – <URL: <https://www.google.pt/maps/preview?hl=pt-PT> >. Consultado em maio de 2014

Figura 56 – Autor

Figura 57 – Autor

Figura 58 – Autor

Figura 59 – Autor

Figura 60 – Autor

Figura 61 – Autor

Figura 62 – Moita, F. (2010). *Energia Solar Passiva*. Lisboa: Argumentum.

Figuras 63 e 64 – Autor

Figuras 65 e 66 – Autor

Figura 67 – Autor

Figura 68 – Autor

Figura 69 – Autor

Figura 70 – Autor

Figura 71 – Autor

Figura 72 – Autor

Figura 73 – Autor

Figura 74 – Autor

Figura 75 – <URL: <http://www.thermokameras.com/Verkauf/Flir%20i-Serie/ID-4959gr.jpg> >. Consultado em maio de 2014

Figuras 76 e 77 – Autor

Figuras 78 e 79 – Autor

Figura 80 – Autor

Figura 81 – Autor

Figura 82 – Autor

Figura 83 – Autor

Figura 84 – Moita, F. (2010). *Energia Solar Passiva*. Lisboa: Argumentum.

Figura 85 – Moita, F. (2010). *Energia Solar Passiva*. Lisboa: Argumentum.

Figuras 86 e 87 – <URL: <http://www.archdaily.com.br/br/01-37199/centro-de-documentacao-e-informacao-palacio-de-belem-carrilho-da-graca-arquitectos> >. Consultado em junho de 2014

Figura 88 – <URL: <http://www.bing.com/maps/> >. Consultado em junho de 2014

Figura 89 – <URL: <http://www.bing.com/maps/> >. Consultado em junho de 2014

Figura 90 – <URL: [http:// https://scontent-a-cdg.xx.fbcdn.net/hphotos-xap1/t1.0-9/p180x540/1619661_460758724050083_898254307_n.jpg](http://https://scontent-a-cdg.xx.fbcdn.net/hphotos-xap1/t1.0-9/p180x540/1619661_460758724050083_898254307_n.jpg) >. Consultado em junho de 2014

Figura 91 – INETI (2007). Relatório da Auditoria ao Palácio de Belém. Lisboa.

Figura 92 – Autor

Figura 93 – Autor

Figura 94 – <URL: http://www.spin-project.eu/downloads/14Scandinavian_Green_Roofs_InstituteLouise_Lundberg.pdf >. Consultado em junho de 2014

Figura 95 – <URL: <http://www.bing.com/maps/> >. Consultado em junho de 2014

Figura 96 – <URL: <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=60> >. Consultado em junho de 2014

Figura 97 – Autor

Figura 98 – Autor

Figura 99 – Autor

Figura 100 – Autor

Figura 101 – Autor

Figura 102 – Autor

Figura 103 – Autor

Figura 104 – Autor

Figuras 105 e 106 – Autor

Figura 107 – Autor

Figura 108 – Autor

ANEXO A

(Apenas disponível em formato digital - Verificar
pasta anexa denominada “Anexo A”)

Dados da estação meteorológica – Medições de
Temperatura, Humidade e Vento

Reabilitação do edifício da Escola de Educação Ambiental da
Quinta da Gruta através da implementação de uma cobertura
ajardinada

ANEXO B

Planos da proposta de cobertura ajardinada para o
edifício da Escola de Educação Ambiental da Quinta
da Gruta

Reabilitação do edifício da Escola de Educação Ambiental da
Quinta da Gruta através da implementação de uma cobertura
ajardinada